

5  
2-j.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"



**"MODIFICACION DE RUTA Y CAMBIO DE  
DISEÑO EN BUSES 230 KV., EN UNA SUBES-  
TACION BLINDADA EN SF6 DE 180 MVA,  
230/23 KV"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**P R E S E N T A I**  
**RENE ESTRADA TERCERO**

DIR. M. EN I. JOSE ANTONIO MARTINEZ MENDEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1988

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

MODIFICACION DE RUTA Y CAMBIO DE DISEÑO EN BUSES DE 230 KV., EN -  
UNA SUBESTACION BLINDADA EN SF<sub>6</sub> DE 180 MVA., 230/23 KV.

	Pág.
INTRODUCCION - - - - -	1
CAPITULO I GENERALIDADES DE LA S.E. SAN ANGEL NUEVA	
I.1 Ubicación de la subestación - - - - -	4
I.2 Localización de la S.E. San Angel Nueva en el sistema eléctrico de la Cfa. de Luz y -- Fuerza del Centro, S. A. - - - - -	9
I.3 Características del hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> ). Antecedentes - - - - -	12
I.3.1 Propiedades Físicas - - - - -	13
I.3.1.1 Fabricación Industrial - - - - -	15
I.3.1.2 Ecuación de Estado- - - - -	16
I.3.1.3 Variación de la presión del SF <sub>6</sub> en función de la temperatura - - - - -	17
I.3.1.4 Constantes Críticas - - - - -	19
I.3.1.5 Calor Especifico - - - - -	19
I.3.1.6 Conductividad Térmica - - - - -	22
I.3.1.7 Conductividad Sónica - - - - -	27
I.4 Propiedades Químicas - - - - -	28
I.5 Propiedades Dieléctricas - - - - -	30
I.6 Aplicaciones - - - - -	43

**CAPITULO II DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO EN LA S.E.  
SAN ANGEL NUEVA.**

II.1	Diagrama unifilar - - - - -	44
II.2	Descripción del equipo eléctrico - - - - -	50
II.3	Características de la línea aérea de alta- tensión 230 KV - - - - -	58
II.3.1	Conductores - - - - -	59
II.3.2	Conductor aluminio-acero - - - - -	59
II.3.3	Formaciones del conductor - - - - -	60
II.4	Características de la boquilla o mufa de - salida (cable A.T. 230 KV) - - - - -	63
II.5	Interruptores de 230 KV en SF <sub>6</sub> - - - - -	65
II.5.1	Válvulas de chorro (Int. 230 KV) -	71
II.6	Buses de 230 KV - - - - -	73
II.7	Gradiente de potencial en buses - - - - -	80
II.8	Cuchillas desconectoras - - - - -	86
II.9	Equipo de muestreo - - - - -	90

**CAPITULO III ANALISIS DE LA MODIFICACION DE RUTA Y CAMBIO  
DE DISEÑO EN BUSES DE 230 KV., EN SF<sub>6</sub> PARA -  
LA ACOMETIDA EN BANCOS.**

III.1	Desacoplamiento de buses subterráneos, 230 KV en SF <sub>6</sub> - - - - -	97
-------	---	----

III.1.1	Consideraciones antes de iniciar el desmontaje y montaje de buses-230 KV, en SF <sub>6</sub> - - - - -	99
III.1.2	Recursos de equipo - - - - -	104
III.2	Ruta crítica - - - - -	106
III.3	Metodología para la modificación de buses-encapsulados y aislados en SF <sub>6</sub> - - - - -	108
III.3.1	Pruebas de hermeticidad - - - - -	120
III.3.2	Proceso de vacío - - - - -	125
III.3.3	Llenado de los buses, con gas SF <sub>6</sub> - - - - -	137

**CAPITULO IV PRUEBAS PARA EL CONTROL DEL SF<sub>6</sub>, EN BUSES DE FASE AISLADA.**

IV.1	Pruebas de humedad relativa al hexafluoruro de azufre - - - - -	143
IV.2	Prueba de potencial aplicado, en buses - - - - -	151
IV.3	Puesta en servicio - - - - -	160

**CAPITULO V ESTUDIO TECNICO ECONOMICO**

V.1	Estudio Técnico. - - - - -	162
V.2	Estudio Económico - - - - -	163

**CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**VI.1 Referencias - - - - - 176**

## INTRODUCCION

El aumento de demanda de energía eléctrica en la Ciudad de México, es un problema que se ha visto incrementado debido al crecimiento de la población que en algunos casos llega a ser considerable por localizarse en áreas densamente pobladas, razón por la cual la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S. A., tiene que planear, programar, construir y operar subestaciones que le permitan integralmente con su sistema, distribuir el fluido eléctrico de las diferentes zonas de concentración y en general de toda la población.

Para ello se hace necesario el uso de subestaciones de transformación, para reducir las tensiones de transmisión las que por razones económicas se hacen en alta tensión, hasta los valores de distribución, obligando así, al diseño y uso de subestaciones blindadas en la zona de 230 KV, aislada con gas hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ). Las cuales requieren en lo general de muy poco espacio resultando así, una notoria economía de terreno en comparación con instalaciones convencionales.

Estas son del tipo modular con elementos encapsulados monofásicos, este equipo cuenta con un sistema de barras colecto-

ras o buses de fases individuales, consistiendo cada uno, de dos--  
tubos concéntricos de aluminio. Actuando el tubo interior como - -  
conductor y el exterior como recipiente aterrizado para el gas.

El espacio interior entre los dos tubos es ocupado por -  
gas hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), a una presión de 30 Lbs/pulg<sup>2</sup> --  
(2.1 Atmosferas) y a 20°C de temperatura. El tubo conductor esta -  
soportado concéntricamente por aisladores de resina epóxica del -  
tipo disco, que actúan como barreras separadoras de gas.

Sin embargo, existen dificultades para conservar la efi--  
ciencia, siendo la zona de buses de 230 KV en  $SF_6$  donde se presen--  
tan más puntos de falla (arcos eléctricos).

Motivo por el cual estos buses requieren de una drástica--  
modificación en su diseño, para ello se realizará un desacoplamien  
to de estos, alojados en la parte subterránea, y cambiarlos de ruta,  
es decir a la aérea.

En los trabajos de la modificación, es necesario tener el  
equipo eléctrico (interruptor de potencia, cuchillas desconectado  
ras, buses y transformador de potencia), libre de potencial eléc--  
trico., para realizar la maniobra de retirarlos y proseguir con -



los cortes convenientes que requiere el nuevo diseño en el campo.

Para la reinstalación de los buses aéreos, se debe tener especial cuidado en la limpieza de partes que lo conforman (anillos, parches, aisladores, alacranes, coples, envolventes y los propios conductores)., así como en la aplicación de la soldadura de aluminio que une los envolventes que cubren al conductor, para posteriormente realizar las pruebas preliminares (hermeticidad, vacío), y la prueba final de llenado con gas  $SF_6$  a los buses encapsulados así como la de potencial aplicado. Para concluir con la puesta en servicio.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE LA S.E. SAN ANGEL NUEVA

La compañía de Luz y Fuerza del Centro, S. A., a través de sus departamentos de Planeación e Ingeniería coordinados con la Gerencia de Construcción, proyecta y construye las plantas de generación, subestaciones y líneas de transmisión necesarias para satisfacer las demandas de energía eléctrica. Dichos proyectos -- consisten en elaborar los estudios técnico-económico de la obra, terreno, proyecto civil, así como la electromecánica de la obra.

En base a lo anterior, debe de comprenderse que en un -- trabajo como éste, no es posible incluir todos los aspectos que intervienen en el diseño, y construcción de las subestaciones ni tampoco presentar un estudio profundo de cada uno de sus componentes, por lo que en esta tesis, se limitó a plantear el criterio y técnica utilizadas, para la modificación de buses encapsulados en SF<sub>6</sub>, de la S.E. Nueva San Angel (de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.), la que por su clase de aislamiento, es una de las primeras subestaciones en su tipo construídas en México, ya que se -- trata de una subestación blindada en la zona de 230 KV, aislada -- con gas SF<sub>6</sub> (hexafluoruro de azufre), el que por sus ventajas, a -

reserva de demostrarlo permite construir subestaciones en alta ten  
sión en un mínimo de espacio favoreciendo así el uso de pequeños -  
terrenos localizados en áreas de alto índice de población urbana,-  
y así aumentar la capacidad instalada en zonas de gran crecimiento.

## I.1 UBICACION DE LA SUBESTACION

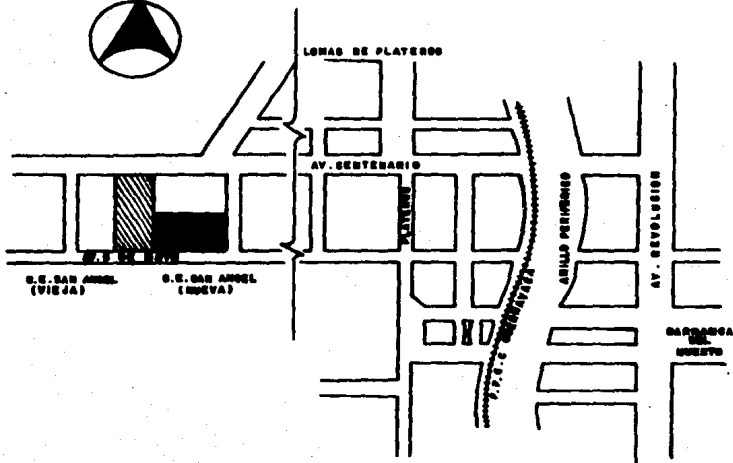
Debido al incremento en la demanda de energía eléctrica en la zona sur de la ciudad, comprendida entre la colonia Mixcoac, San Angel, Coyoacán y otras, así, como la construcción de una gran cantidad de condominios habitacionales, centros comerciales, bancos, construcción de las ampliaciones del sistema colectivo de transporte (metro), ejes viales, etc., fué necesario proyectar una subestación que estuviese aproximadamente en el centro de carga de esta zona, para poder aumentar la capacidad instalada del sistema y así un número mayor de alimentadores.

Razón por la cual, como se explicó anteriormente, la gerencia de Planeación e Ingeniería, determinó en función de datos estadísticos la capacidad de la nueva subestación, así como el terreno y características del equipo, así como la fuente de alimentación a través de una línea de transmisión, etc.

En función de los estudios de demanda y carga instalada se buscó el terreno apropiado para construir la subestación que aliviase las demandas de energía eléctrica de esta zona, teniendo como resultado la necesidad de construir una subestación compacta, ya que debido al costo y dimensiones del terreno que requería una-

subestación convencional, no sería factible debido a la urbanización de esta zona contar con terreno apropiado, y que en función de la escasez, limitaciones y del costo tan elevado que se tiene por metro cuadrado se originó el estudio técnico-económico en la selección de una subestación blindada en SF<sub>6</sub>.

Debido a la escasez de áreas para construir en esta zona, la subestación se proyectó en un lugar que no pertenece exactamente al centro de carga, pero, que sin embargo, cumple con la finalidad de dar servicio adecuado a las necesidades de la carga instalada. La ubicación de la S.E. Nueva San Angel tema de esta tesis (ver plano No. 1), se encuentra en una área donde se encuentran gran cantidad de condominios, bancos, centros comerciales, etc., esto justifica la tendencia actual de reducir su tamaño al mínimo, utilizando subestación blindadas en 230 KV, y en la zona de 23 KV.



<b>U.N.A.M.</b>	<b>F. E. S. - C</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>RENE ESTRADA TERCERO</b>	<b>1988</b>	
<b>LOCALIZACION DE LA SUBESTACION SAN ANGEL NUEVA</b>	<b>PLANO</b>	
<b>SIN ESCALA</b>	<b>SIN ACOTACION</b>	<b>1</b>

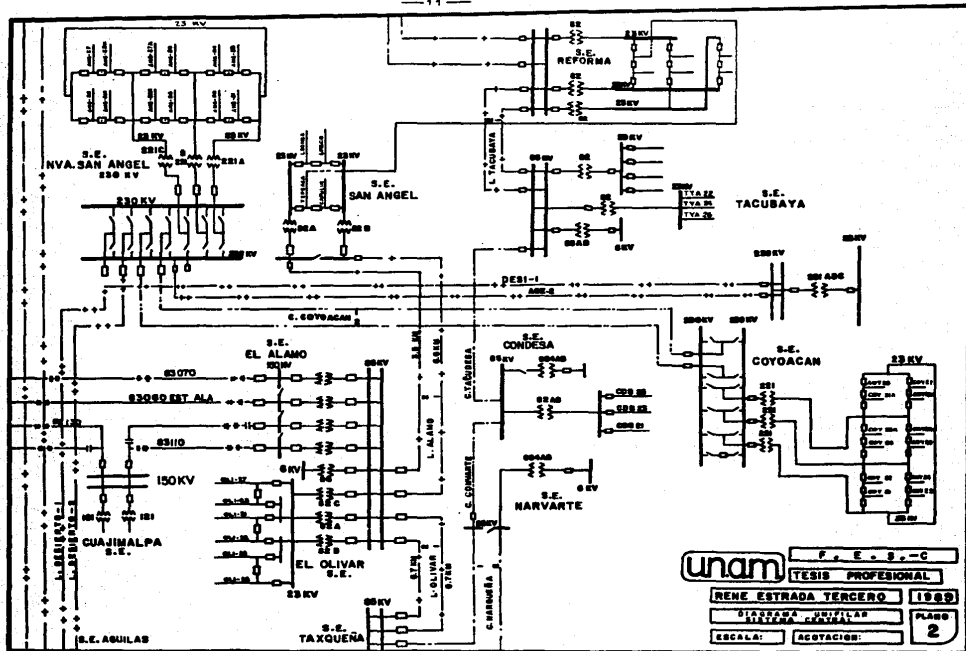
I.2 LOCALIZACION DE LA S.E. NUEVA SAN ANGEL EN EL SISTEMA ELEC- -  
TRICO DE LA CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A.

Como una medida tomada por la Cia. de Luz, para transmi-  
tir y distribuir cantidades de carga a las tensiones adecuadas a-  
su magnitud, tanto desde el punto de vista técnico y económico, en  
lo que respecta a tensiones de transmisión y distribución de ener-  
gía eléctrica, se utiliza como tensión de transmisión la de 400 KV,  
230 KV, 85 KV y de 23 KV., para el sistema de distribución, favore-  
ciendo así la utilización de transformadores de potencia de 230/23  
KV., para las subestaciones de distribución las que permiten ser -  
directamente alimentadas o conectadas al sistema de transmisión en  
anillo de 230 KV de la ciudad de México, y evitar así la doble - -  
transmisión que se tiene con la existencia para distribución de --  
85/23 KV.

En base a lo expuesto anteriormente, y para el caso de-  
la S.E. Nueva San Angel se proyectó fuera alimentada a través de -  
una línea de transmisión que proviene de la subestación Las Agui-  
llas (L.Desierto-2), que se encuentra interconectada al anillo de -  
230 KV.

En el plano No. 2 se muestra el diagrama unifilar del sistema central de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S. A. en el cual se encierra en un círculo la S.E. Nueva San Angel, la que es posible alimentarla con el método tradicional de líneas aéreas, a un voltaje de 230 KV., y recíprocamente ser interconectada directamente a la red de distribución en el lado de 23 KV.





<b>unam</b>	F. E. S. - C
	TESIS PROFESIONAL
RENE ESTRADA TERCERO	1999
CIUDAD DE CUAJIMALPA ESTADO DE GUANAJUATO	PLANO
ESCALA:	ACOTACION:
	2

### I.3 CARACTERISTICAS DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE ( $SF_6$ )

#### ANTECEDENTES.

Las investigaciones para el uso y aplicación del hexafluoruro de azufre datan aproximadamente del año de 1900.

La Síntesis del gas  $SF_6$  fué obtenida por primera vez en - 1900 por los señores Moissan y Lebeau, en los laboratorios de la - Facultad de Francia de París. Sin embargo, sólo empezó a utilizarse en la industria eléctrica unos 50 años después, alcanzando un desarrollo muy importante en los últimos diez años.

El uso del gas hexafluoruro de azufre como aislante y - agente para extinguir el arco eléctrico, ha sido aceptado por la - industria eléctrica. La habilidad del hexafluoruro de azufre para absorber los electrones libres durante un arqueo, asociados con el circuito de interrupción y posteriormente recombinados al pasar - por la energía del campo eléctrico, lo hace particularmente útil - en los sistemas eléctricos cerrados de alta tensión, propiciando - así su aplicación a barras colectoras y cuchillas, originando el - estudio y desarrollo de subestaciones blindadas y encapsuladas en hexafluoruro de azufre.

### I.3.1 PROPIEDADES FISICAS.

Las propiedades más importantes que posee el hexafluoruro de azufre para su aplicación en equipo de alta tensión y para cumplir con su múltiple función de aislante refrigerante y agente para extinguir el arco eléctrico, son:

- a) Alta rigidez dieléctrica
- b) Estabilidad química
- c) Estabilidad térmica
- d) Baja temperatura de licuefacción
- e) No inflamabilidad
- f) Alta conductividad térmica
- g) Inerte fisiológico
- h) Habilidad para extinguir el arco eléctrico

El gas hexafluoruro de azufre es un compuesto que tiene - por fórmula  $SF_6$ .

En la figura I-1 se observa la representación espacial de la molécula de hexafluoruro de azufre.

Los 6 átomos de fluor están colocados simétricamente en -

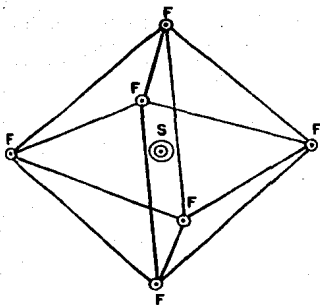


FIG. No. I-1 REPRESENTACION ESPACIAL  
DE LA MOLECULA DEL GAS  
SF<sub>6</sub>.

los vértices de un octaedro regular, donde el átomo de azufre ocupa el centro, y sus enlaces con este último presentan un carácter fuertemente covalente.

Este aislante se comporta en estado gaseoso a temperatura y presión ambiente, y tiene una densidad (a 20 °C y 760 mmHg) de  $6.139 \text{ Kg/m}^3$  (alrededor de 5 veces más denso que el aire). Su peso molecular es de 146.06. Se licua a  $-62^\circ\text{C}$  a presión atmosférica y  $0^\circ\text{C}$  a una presión de  $12 \text{ Kg/Cm}^2$ .

El gas hexafluoruro de azufre en estado de pureza es inodoro, incoloro, no es tóxico ni inflamable. Debido a que su temperatura crítica es de  $45.6^\circ\text{C}$ , puede licuarse por compresión a temperatura ambiente., normalmente se transporta como líquido en cilindros de acero.

#### I.3.1.1 FABRICACION INDUSTRIAL

El gas hexafluoruro de azufre se fabrica comercialmente-- por electrólisis a partir del azufre y el flúor y su formación se expresa por la ecuación exotérmica siguiente:



Además del hexafluoruro de azufre se forman ciertos fluoruros de azufre de menor valencia, como tetrafluoruro de azufre ( $SF_4$ ), difluoruro de azufre ( $SF_2$ ), fluoruro de azufre ( $S_2F_2$ ), decafluoruro de azufre ( $S_2F_{10}$ ), lo mismo que impurezas debido a la presencia de humedad, aire y ánodos de carbono dentro de la celda electrolítica de flúor.

#### I.3.1.2 ECUACION DE ESTADO.

El peso molecular y la composición química del  $SF_6$  se muestra a continuación:

Tabla No. 1-I

Peso molecular . . . . .	146.06 %
Contenido de azufre . . . . .	21.95 %
Contenido de flúor . . . . .	78.05 %

La solubilidad es:

En agua . . . . .	(25°C, 1 atm) 0.001 ml/ml de agua
En aceite de transformador . . . . .	0.297 ml/ml de aceite.

El hexafluoruro de azufre es un gas que se comporta con -

la ecuación de estado de Beattie. Bridgeman:

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

donde:

P = Presión

V = Volumen

T = Temperatura

R = Constante de los gases perfectos

Esta ecuación es válida mientras  $V = 0.3$  l/mol y

$T = 373^\circ\text{K}$

Las constantes son funciones hiperbólicas del volumen del cual dependen según las relaciones:

$$a = 15.78 (1 - 0.1062 V^{-1})$$

$$b = 0.36 (1 - 0.1236 V^{-1})$$

### I.3.1.3 VARIACION DE LA PRESION DEL $\text{SF}_6$ EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.

La variación de la presión con la temperatura está en función de la temperatura y es lineal y relativamente débil dentro de una gama de temperaturas de servi- - -

cio (-15°C a 50°C), tal como se observa en la fig. I-2

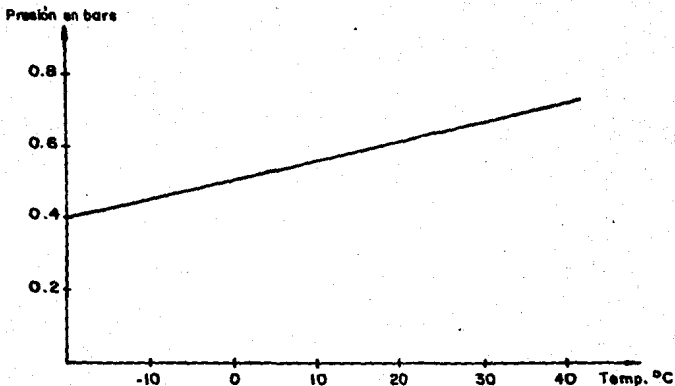


FIG.No I- 2 VARIACION DE LA PRESION DEL SF<sub>6</sub> EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.



#### 1.3.1.4 CONSTANTES CRITICAS.

Las características críticas del hexafluoruro de azufre son:

- a) Temperatura crítica . . . . . 45.6°C
- b) Presión crítica . . . . . 38.193 atm. abs. (bars)
- c) Masa específica crítica . . . . . 730 Kg/m<sup>3</sup>
- d) Volumen crítico molar . . . . . 201 ml.

El SF<sub>6</sub> pasa directamente de la fase sólida a la gaseosa - y no existe en forma de líquido, sino bajo presión. La temperatura de sublimación es -63.8°C y la solidificación a 2.21 Atm. abs. - es de -50.8°C.

Debido a que su temperatura crítica es de 45.6°C al gas-hexafluoruro de azufre puede licuarse por compresión a temperatura ambiente. La curva de presión de vapor saturado como se observa en la fig. I-3 está en función de la temperatura.

#### 1.3.1.5 CALOR ESPECIFICO.

El calor específico del SF<sub>6</sub> en relación con la unidad de volumen más grande que la del aire., en razón de su masa específica representa alrededor de 5 veces la del aire. Esto trae consecuencias muy importantes, debido a la reducción del calentamiento del equipo eléctrico.

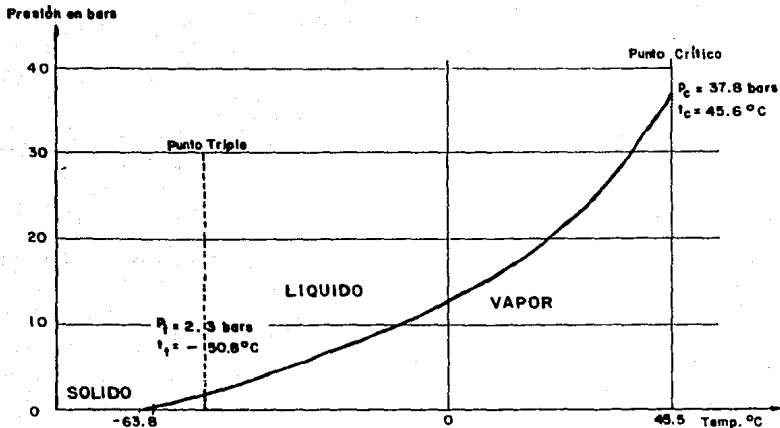


FIG. No. I-3 CURVA DE PRESION DE VAPOR SATURADO PARA EL SF<sub>6</sub>.

Es bastante frecuente que en la práctica se utilice el SF<sub>6</sub> a temperaturas superiores a la temperatura crítica, y por consiguiente se debe tener en cuenta que la presión desarrollada en el equipo depende de la densidad de llenado: masa del SF<sub>6</sub>/volumen de 10 a 50 Kg/m<sup>3</sup>.

La densidad de las fases sólida y líquida en función de la temperatura varía como se indica en la tabla I-2

TABLA No. I-2

Variación de la densidad en función de la temperatura

Estado	Temperatura °C	Densidad
Sólido	- 273	2.740
	- 195	2.683
Líquido	- 50.8	1.910
	- 45	1.819
	- 39	1.787
	- 20	1.670
	0	1.540
	14.00	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	

### I.3.1.6 CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica del hexafluoruro de azufre es inferior a la del aire, tal como se observa en la tabla I-6, pero su coeficiente global de transferencia de calor, tomando en cuenta en particular la convección, es excelente, a la de los gases como hidrógeno y el helio, y es más grande que la del aire, además es - - prácticamente estable hasta la temperatura de 773°K. Pero el valor de la temperatura de disociación térmica de este gas respecto a la de otros aislantes gaseosos es relativamente baja. A la temperatura de 2 100°K, la disociación térmica del gas SF<sub>6</sub> es extremadamente rápida.

Bajo la acción de descargas eléctricas y altas temperaturas que llegan a más de 3000°K, y que son debidas a los arcos, el SF<sub>6</sub> se descompone particularmente en fluoruros inferiores.

En la fig. I-4 se observa la curva de su conductividad térmica contra la temperatura, haciendo sobresalir las cualidades excepcionales de este gas para extinguir el arco eléctrico por enfriamiento térmico.

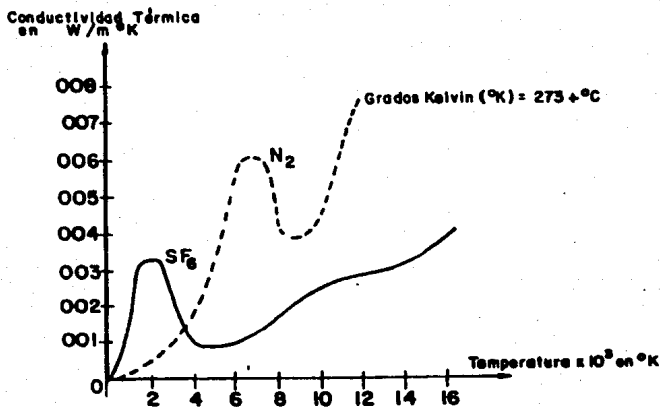


FIG. No. I-4 CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL GAS SF<sub>6</sub> Y EL N<sub>2</sub>

En el pico de la curva de conductividad térmica corresponden a la temperatura de disociación del SF<sub>6</sub> (2100°K a 2500°K), que se acompaña a lo largo de la reformación de la molécula en la periferia del arco, de una importante absorción de calor, favoreciendo el cambio rápido de un medio caliente a uno frío.

El calor de la formación en estado gaseoso a 25°C es - - -

262°K cal/ g mol.

El calor de sublimación es 5640 Cal/ g. mol., este valor es suficientemente exacto a más de -10°C.

El calor de fusión es 1201 Cal/g Mol.

El calor de vaporización es función de la temperatura se muestra en la tabla I-3

TABLA No. I-3

Calor de vaporización en función de la temperatura

Temperatura °C	Calor de Vaporización (Cal /g mol)
- 50.8	4 500
- 40	4 280
- 20	3 690
0	3 000
20	2 200
40	1 000
45.6	0

El calor específico a presión y a volumen constante en --  
función de la temperatura absoluta se muestra en la tabla I-4 y --  
I-5

TABLA No. I-4

Calor específico a presión constante (en estado gaseoso a 1 atm. abs.)

Temperatura (*K)	Cp(Cal/g mol°C)
212.85	16.73
228.30	17.94
229.00	18.07
250.76	19.38
251.50	19.57
271.30	20.76
271.70	20.93
284.50	21.52
284.70	21.62
337.50	24.47

I.3.1.7 CONDUCTIVIDAD SONICA

La velocidad del sonido en el gas SF<sub>6</sub> representa alrededor de un tercio de la velocidad en el aire, lo que le hace ser un buen aislante acústico como se observa en la tabla No. I-6

TABLA No. I-6 COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS TERMODINAMICAS DE LOS GASES SF<sub>6</sub>, AIRE, N<sub>2</sub> O N<sub>2</sub>.

CARACTERISTICAS	HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF <sub>6</sub> ).	AIRE	NITROGENO N <sub>2</sub>	HIDROGENO H <sub>2</sub>
PESO MOLECULAR	146.07	28.96	28.016	2.016
Punto Triple	TEMPERATURA, EN °C	-50.0	---	-210.06
	PRESION DE VAPOR, EN BARS.	170.0	---	66.6
Punto Crítico	TEMPERATURA EN °C	45.55	-140.73	-140.03
	PRESION, EN BARS	37.8	37.0	34.1
	PESO ESPECIFICO EN Kg/m <sup>3</sup>	730.0	320	310.0
PESO ESPECIFICO EN -- Kg/m <sup>3</sup> A 0°C Y 1 BAR	6.130	1.293	1.250	0.080
CONDUCTIVIDAD TERMICA λ 10, EN W/sm <sup>2</sup> K.	1.300 °K 0.14	0.24	0.24	1.08
VISCOSIDAD η 10 <sup>3</sup> , EN -- POISES.	1450	1700	1000	885
VELOCIDAD DEL SONIDO -- A 30 °C Y 1 BAR.	138.5	350	355	1330
CALOR ESPECIFICO Cp A PRESION CONSTANTE, EN Kcal/Kg °K.	0.210	0.230	0.240	0.305
CALOR ESPECIFICO Cv - A VOLUMEN CONSTANTE EN Kcal/Kg °K.	0.165	0.172	0.170	2.404
$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	1.3	1.4	1.4	1.4



#### I.4 PROPIEDADES QUIMICAS

La estructura molecular del hexafluoruro de azufre es la de un octaedro regular (Ver. fig. I-1), encontrándose sus vértices ocupados por los átomos de azufre. La sección eficaz de colisión de la molécula del gas  $SF_6$  es 4.77 Angstroms. Los seis enlaces -- son covalentes, lo que explica la estabilidad excepcional de este gas:

- a) El gas  $SF_6$  puede calentarse sin descomposición hasta  $500^{\circ}C$ .
- b) No es inflamable
- c) Es insoluble al agua.
- d) No es atacado por ácidos.
- e) El hidrógeno, cloro y oxígeno no ejercen acción sobre el gas --  $SF_6$ .

El hexafluoruro de azufre se puede considerar como un gas particularmente inerte hasta una temperatura de  $500^{\circ}C$ .

En contacto con algunos materiales de construcción, es -- térmicamente estable a una temperatura arriba de la cual el aceite aislante comienza a descomponerse y oxidarse. Sin embargo, se ha observado que la presencia de ciertos metales a temperaturas supe--

riores a 200°C, disminuye las propiedades dieléctricas del gas SF<sub>6</sub>, afortunadamente, los metales usados en los equipos eléctricos como: cobre, bronce, acero inoxidable, aluminio y plata, tienen un efecto mínimo sobre el hexafluoruro de azufre. La única excepción es el acero al silicio, que tiene el mayor efecto catalítico sobre el gas SF<sub>6</sub>.

En estado puro, su toxicidad es nula para el ser humano.

## I.5 PROPIEDADES DIELECTRICAS.

Las investigaciones sobre las características dieléctricas del hexafluoruro de azufre, han sido llevados a cabo por varios investigadores que han trabajado aisladamente estas investigaciones, en general de una o de otra forma son positivos y ponen de manifiesto, las grandes ventajas que tiene el  $SF_6$  como gas aislante en el uso de equipos eléctricos.

Como punto de partida para analizar las propiedades dieléctricas del gas  $SF_6$  en la mayoría de los casos se toma como referencia las características dieléctricas del aire seco,  $N_2$ ,  $CO_2$  aceite aislante, así como los parámetros del campo eléctrico.

Para el caso de esta tesis se presentan algunos resultados de investigaciones realizadas por diferentes autores, y se mencionan al final algunas aplicaciones más importantes de este gas. Considerando que es importante citar estos datos como un estudio preliminar para llegar a dar crédito a los resultados presentados, como conclusiones de este gas, ya que a nivel de construcción o montaje de equipo en  $SF_6$ , en algunos casos no se cuentan con todos los elementos necesarios de un laboratorio para verificar dichas características, que los fabricantes presentan en sus informes o

instructivos, con cierta falta de claridad y profundidad en su significado y alcances que se tiene al usar este gas.

El valor máximo de voltaje que ha sido aislado entre dos electrodos, uno de forma esférica y otro plano en una atmósfera gaseosa, ha sido en función de la distancia entre estos y la presión del gas bajo prueba.

Bajo este principio el hexafluoruro de azufre ha sido probado, para comparar su habilidad como dieléctrico, contra una mezcla de  $N_2$  y  $CO_2$  en proporciones iguales, y que han sido utilizados comunmente como aislantes gaseosos. En estas pruebas se encontró que para condiciones iguales de presión, y distancia de electrodos, el hexafluoruro de azufre tiene rigidez dieléctrica tres veces mayor que la mezcla de  $N_2$   $CO_2$  para presiones aproximadamente de 9 -- atms. (ver fig. No. I-5).

Para presiones elevadas, la superioridad de  $SF_6$  contra la mezcla de  $N_2$   $CO_2$  es relativa

No obstante, que la rigidez dieléctrica del gas  $SF_6$  varía con el material, forma y tamaño de los electrodos se considera que en campo eléctrico uniforme tiene un valor de 2.4 veces mayor-

que la del aire a una presión de 3 atm.

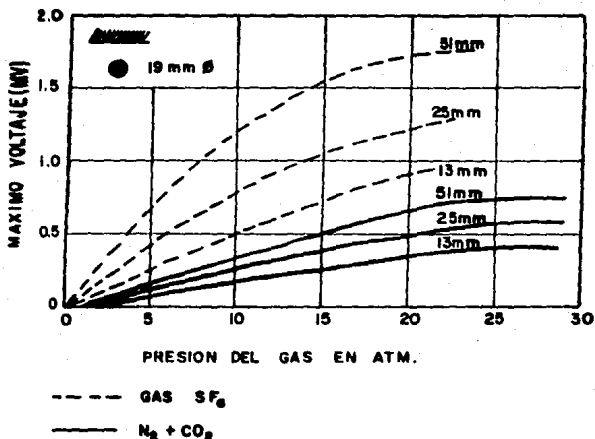


FIG.No. I-5 COMPARACION DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL SF<sub>6</sub> - CON UNA MEZCLA DE N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> CON ELECTRODO DE 19 mm DE DIAMETRO A DIFERENTES SEPARACIONES DEL POTENCIAL A TIERRA.

En la fig. No. I-6 se observa que la rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub> es un 30% menos que la del aceite a presión atmosférica y aumenta rápidamente con el incremento de la presión. Alcanza un valor igual al del aceite a una presión de 650 Kg/cm<sup>2</sup>.

La habilidad del hexafluoruro de azufre para absorber los electrones libres a través del campo eléctrico, formando iones negativos  $SF_6^-$   $SF_5^-$

La pequeña densidad de electrones, que quedan libres y la baja movilidad de los iones que con ellos se forman son las causas principales que justifican los llevados valores de las tensiones de descarga.

El gas  $SF_6$  puede interrumpir corrientes del orden de 100 veces a las que interrumpe el aire. (Ver Fig. No. 1-7)

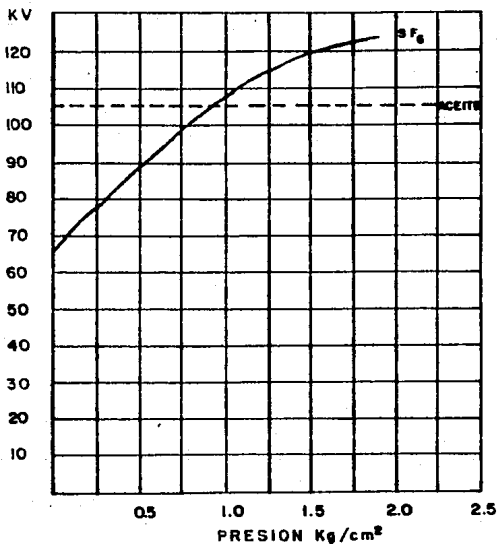


FIG.No.1-6 CURVAS COMPARATIVAS DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE Y ACEITE DIELECTRICO.

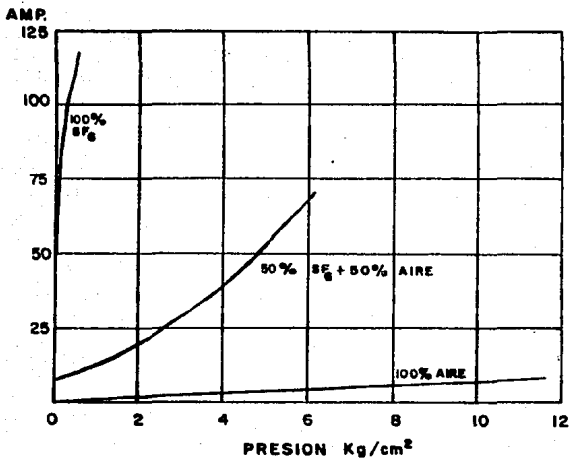


FIG. No. I-7 CURVAS COMPARATIVAS DE LAS CORRIENTES CORTADAS A 23 KV PARA UNA DISTANCIA DE RUPTURA DE 7.5 mm. EN EL AIRE, CON UNA MEZCLA EN PARTES IGUALES DE SF<sub>6</sub> Y AIRE, Y CON HEXAFLUORURO DE AZUFRE-PURO.



Esta característica se debe entre otras, por las propiedades térmicas del gas, y que a 2100°K la molécula del gas SF<sub>6</sub> se disocia térmicamente en tiempos extremadamente breves, en estas condiciones físico-químicas, la conductividad térmica del gas, que depende del normal transporte cinético de energía, y de la difusión de la energía de disociación y ionización, se hace máxima. Por lo tanto los arcos en el gas SF<sub>6</sub> presentan, cualquiera que sea el valor de la corriente, un núcleo caliente de sección muy pequeña y con constante de tiempo térmica extremadamente corta.

El problema de las velocidades de crecimiento de la tensión de reencendido los cuales pueden alcanzar valores excesivamente elevados en el momento del corte, han sido especialmente estudiados dando como resultado la fórmula que da el valor límite de la tensión de reencendido, después que la corriente ha pasado por cero, por encima de la cual el arco se cerrará de nuevo.

$$E = \frac{E_0}{2^{1.73} (\oplus V)^2} \text{ volts.}$$

Donde:

E<sub>0</sub> = Tensión del arco estabilizado

⊕ = Constante de tiempo de la columna del arco (tiempo que

tarda la tensión del arco en tomar su valor inicial después de la perturbación

$$V = 2\pi f t_0$$

La constante de tiempo, para el hexafluoruro de azufre es 100 veces menor que la del aire, por lo que la tensión de reencendido permisible puede ser 100 veces mayor. En las Figs. No. I-8 y I-9, se observan las constantes de tiempo para diferentes gases y mezclas de estos con el SF<sub>6</sub>.

Como se observa en las figs. No. I-8 y I-9, la constante de tiempo son enormes en el SF<sub>6</sub>, y esto se explica debido a la gran rapidez con que los electrones libres, en el arco, son capturados por las moléculas del gas.

La constante dieléctrica del gas SF<sub>6</sub> es aproximadamente 1.0 y debido a que la molécula no tiene momento dipolar, esta propiedad no cambia con la frecuencia.

La rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub> no es afectada por la presencia del aire. Se considera que un contenido de aire tan alto como el 10% en el hexafluoruro de azufre, afecta la rigidez dieléctrica solamente alrededor del 2%

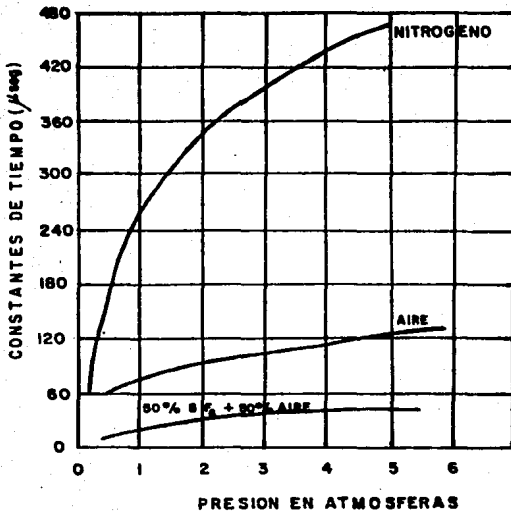


FIG. No. I-8 CONSTANTES DE TIEMPO DEL NITROGENO, AIRE Y UNA MEZCLA EN PORCIENTOS IGUALES DE SF<sub>6</sub> Y AIRE

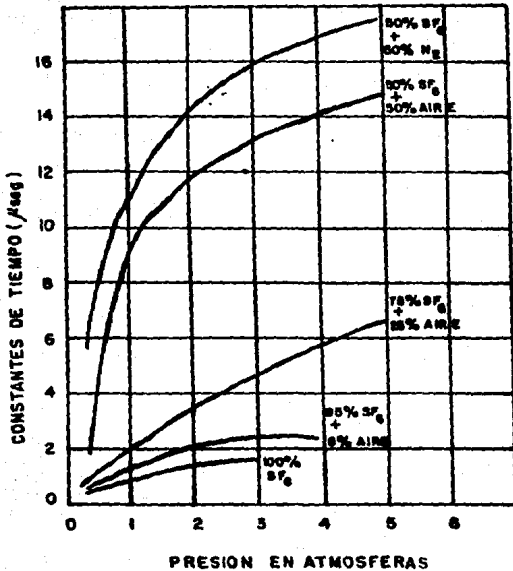


FIG. No. I-9 CONSTANTES DE TIEMPO EN FUNCION DE LA PRESION DE VARIAS MEZCLAS DE SF<sub>6</sub> Y AIRE.

En la fig. No. I-10 se muestra el efecto del aire sobre -  
la rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub>.

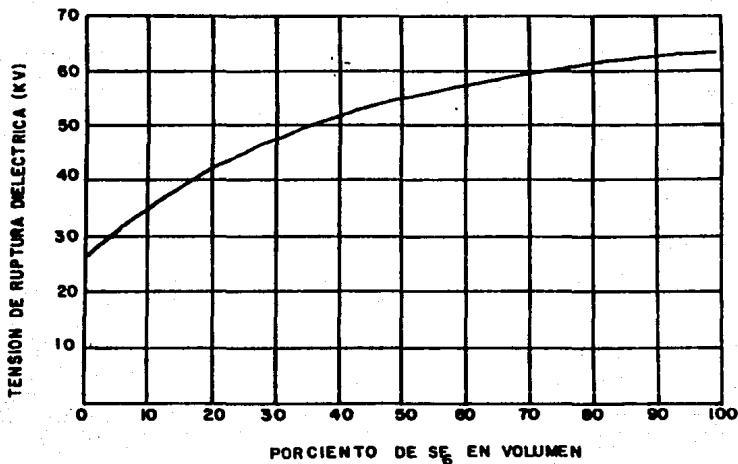


FIG. No. I-10 EFECTO DEL AIRE SOBRE LA TENSION DE RUPTURA DEL GAS SF<sub>6</sub> BAJO LAS SIGUIENTES CONDICIONES: ESFERAS DE 5 cm. DE DIAMETRO, SEPARACION 6.35 cm, RECIPIENTE DE 19664.47 cm<sup>3</sup>, PRESION 1atm. A 25 °C., ELEVACION DE TENSION 1KV/min A 60Hz.

Para campos eléctricos no uniformes se obtiene un máximo de tensión de ruptura dieléctrica para presiones vecinas de 2 bars, tal como se observa en la fig. I-11.

La aparición del efecto corona en el hexafluoruro de azufre precede mucho a la ruptura dieléctrica y este fenómeno es más importante cuando la punta del electrodo es negativo, esto se ilustra en la fig. No. I-12.

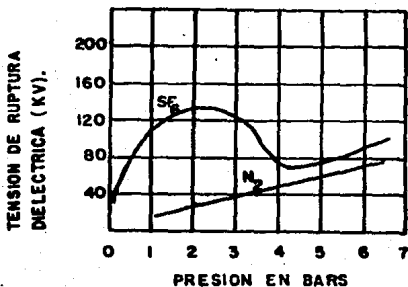
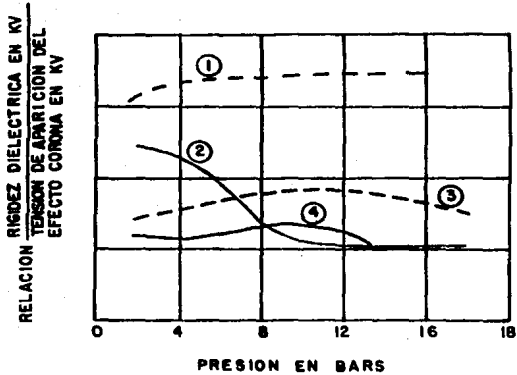


FIG. No. I - 11 TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA EN FUNCION DE LA PRESION PARA UN CAMPO NO UNIFORME.



CURVA 1.- SF<sub>6</sub>, PUNTA DE ELECTRODO (-)

CURVA 2.- SF<sub>6</sub>, PUNTA DE ELECTRODO (+)

CURVA 3.- AIRE, PUNTA DE ELECTRODO (-)

CURVA 4.- AIRE, PUNTA DE ELECTRODO (+)

FIG. No. 1-12 RELACION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA EN KV. ENTRE LA TENSION DE APARICION DEL EFECTO CORONA EN EL GAS SF<sub>6</sub> Y EL AIRE CON DIFERENTE POLARIDAD DE LOS ELECTRODOS.

## I.6 APLICACIONES

Por las características físicas, químicas y eléctricas, - que se describen en este capítulo acerca del hexafluoruro de azufre, así como las investigaciones que se siguen realizando sobre este gas.

Se ha mostrado abiertamente el uso en equipo eléctrico -- con gran aceptación en el desarrollo de subestaciones blindadas, - por ser el SF<sub>6</sub> de excelentes características dieléctricas y por tener gran estabilidad térmica, así como habilidad para extinguir el arco eléctrico etc.

Por esta y muchas razones más se está usando en interruptores de potencia, cuchillas desconectoras, barras colectoras y otras aplicaciones en alta tensión. Por lo que el uso de este gas entra dentro de gran parte del equipo que se usa en la S.E. Nueva-San Angel, tema de esta tesis, en la cual en los siguientes capítulos se describen las técnicas usadas en dicho equipo para el buen manejo y uso del SF<sub>6</sub> en este nuevo diseño de subestaciones.



CAPITULO II  
DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO EN LA S. E.  
SAN ANGEL NUEVA.

La subestación "San Angel Nueva" está integrada al anillo de 230 KV, por medio de la línea de transmisión (L. Desierto-2), que la une con la subestación las Aguilas, alimenta por medio del cable de 230 KV, con dos circuitos a la subestación "Coyoacán" y alimenta también por medio de la línea "L. Angel-1" a la subestación "Tacubaya Nueva".

Además de que, por medio de un banco provisional 85/23-KV instalado en la subestación, servirá para reforzar el anillo de 85 KV. Para la distribución de energía en su zona de influencia, se contará con tres transformadores de potencia trifásicos de 60 MVA con una relación de 230/23KV, los cuales distribuyen la energía por medio de 12 alimentadores de 23 KV.

II.1 Diagrama Unifilar

La elección del diagrama de conexiones de una subestación depende de las características específicas de cada sistema eléctrico y de la función que realiza dicha subestación en el -

sistema.

Los criterios que se utilizan para hacer la selección del diagrama unifilar más adecuado, son los siguientes:

- 1°.- Continuidad de servicio
- 2°.- Flexibilidad de operación
- 3°.- Facilidad para dar mantenimiento al equipo.
- 4°.- Cantidad de equipo eléctrico.

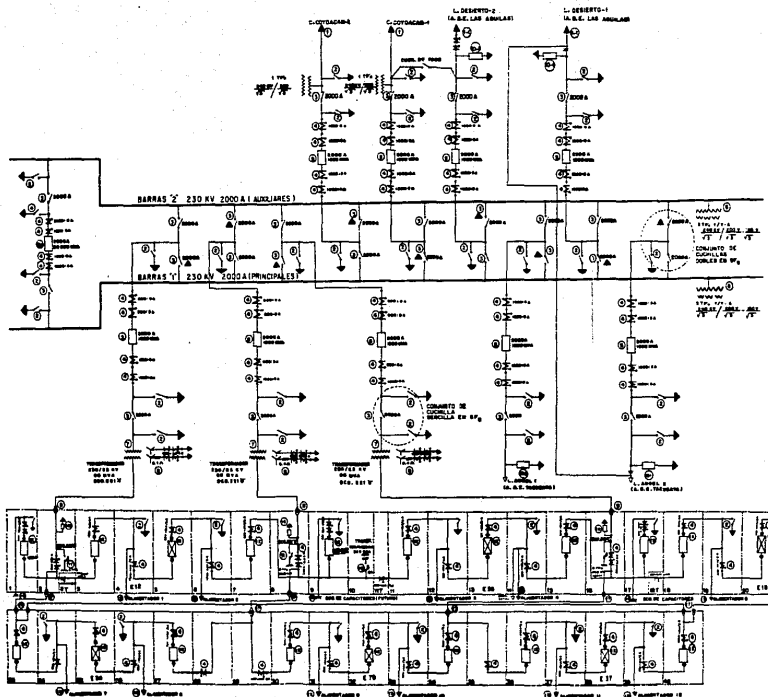
Además las características generales que deben satisfacer todas las disposiciones constructivas que puedan concebirse para realizar un diagrama de conexiones determinado, dependen de los siguientes factores.

- a) Diagrama de conexiones adaptado.
- b) Tensión nominal de la instalación.
- c) Intensidad de corriente máxima que pueda circular -- por las distintas partes conductoras de la instalación en las condiciones de operación más desfavorables y valor máximo de corriente de corto-circuito.
- d) Seguridad para el personal de operación y de mantenimiento.

Es así como el diagrama de conexiones que se adopte, -- determina en gran parte el costo de la instalación, no sólo por-- que define la cantidad de equipo que debe utilizarse sino también porque condiciona la extinción de la superficie ocupada por la -- subestación.

Por otra parte debe señalarse que para realizar un dia-- grama de conexiones determinado pueden adoptarse varias disposi-- ciones constructivas distintas, que pueden presentar diferentes - ventajas e inconvenientes desde el punto de vista de la superfi-- cie ocupada, estructuras soporte, cantidad de aisladores, tipo y - longitud de barras colectoras, claridad de la instalación para fa-- cilitar su operación y aspecto de instalación con respecto al me-- dio circundante., todos estos factores tienen una repercusión en-- el costo de la subestación. Todas las consideraciones anteriores conducen a idear la operación de la subestación que garantice la continuidad del servicio, o en caso inevitable, suspensiones de - la menor duración posible.

El diagrama unifilar de la subestación San Angel Nueva-- se muestra en el plano No. 3, y fué seleccionado entre varias al-- ternativas estudiadas de acuerdo con los parámetros citados ante-- riormente, por el departamento de Ingeniería para definir el pro--



- INTERRUPTORA Y BARRAS -----
- 1.- LINEA DE BARRAS PARA CABLE DE 230 KV Y LA S.E. CUYOZACA.
  - 2.- LINEAS DE LINEAS DE TRANSMISION 230 KV Y LA S.E. DE VERA DEL MONTE.
  - 3.- COLUMELAS DE PUESTA A TUBERA DE 230 KV Y 23 KV.
  - 4.- COLUMELAS RECONECTADORAS DE 230 KV Y 23 KV.
  - 5.- TRANSFORMADORES DE COMBUSTE PARA 230 KV Y 23 KV.
  - 6.- INTERRUPTOR DE POTENCIA PARA 230 KV Y 23 KV.
  - 7.- INTERRUPTOR DE AERIE.
  - 8.- TRANSFORMADORES DE POTENCIA 240 KV / 230 KV.
  - 9.- REACTOR DE S.P.A.
  - 10.- DUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA A LOS BARRILES.
  - 11.- PARABOTAS DE 23 KV.
  - 12.- TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE 23 KV CON FUSIBLE.
  - 13.- INTERRUPTOR DE POTENCIA DE 23 KV.
  - 14.- S.M.P.A. PARA ALBERTADORER DE 23 KV.
  - 15.- DUCTO DE CONDUCCIONES PARA 23 KV, 10 KV Y 0.4 KV.
  - 16.- FUSIBLE.
  - 17.- TRANSFORMADOR PARA SERVIDO DE ESTACION.
  - 18.- DUCTO DE UNION ENTRE BARRILETE Y BARRAS.
  - 19.- TRANSFORMACION DE COMBUSTE EN ZONA DE 23 KV DE RELACION RECONECTADOR A.
- EL BARRILETE JUNTO A UNA COLUMELA PUEDE SER EN LA UNA ESTA CERRADA EN CONDICIONES DON BARRILES DE OPERACION.

**UNAM**  
 INGENIERO PROFESIONAL  
 POR ESTADIA TECNICO (1985)  
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD (1980)  
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD (1980)  
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD (1980)

yecto.

En cuanto a su diagrama unifilar se utilizó la conexión de doble juego de barras e interruptor de amarre. Este sistema de doble barra permite continuidad en el servicio, así como las labores de mantenimiento, ya que se puede transferir la alimentación de una a otra barra, para dejar sin potencial aquella que necesite mantenimiento.

En el diagrama unifilar, se observa que la subestación cuenta con 3 transformadores de potencia 3ø de 230/23 KV, 60 MVA, conexión  $Y_{\Delta} \setminus Y_{\Delta}$ , 60 Hz cada uno.

Lo cual nos da una capacidad instalada de 180 MVA, que en condiciones de operación normal considerando que sólo dos de los tres transformadores estarán operando y un tercero queda en reserva bajo esta condición, nos dará una capacidad firme de 120 MVA.

Tomando en cuenta que los transformadores, en base a sus curvas de carga pueden soportar un 20% de sobrecarga, por lo que tenemos para la subestación San Angel Nueva:

Capacidad instalada = 3 transformadores de 60 MVA c/u =  
180 MVA

Considerando sólo en operación dos transformadores:

Capacidad Firme = 60 MVA X 2 X 1.2 = 144 MVA.

La carga conectada a la subestación consta de 12 alimen  
tadores de 23 KV, los cuales salen de la subestación hacia la --  
red de distribución por medio de cable subterráneo, la capacidad--  
normal de cada uno de ellos es de 9 MVA. Cada alimentador puede--  
llevar como sobrecarga 12 MVA c/u por lo que:

12 Alimentadores X 12 MVA c/u = 144 MVA.

Esto significa que en el caso de sobrecarga la capaci--  
dad firme de la subestación, no se ve afectada. Por lo que en con  
diciones normales de operación tenemos:

12 Alimentadores X 9 MVA c/u = 108 MVA.

Para este caso los dos transformadores que llevan carga  
estarán trabajando a un 90% de su capacidad, quedando la capaci--

dad firme de la subestación sobrada para condiciones normales de operación.

Estos alimentadores se encuentran según diagrama unifilar, conectados en un arreglo de doble barra en anillo (ver fig. No. II-1), el cual permite tener gran índice de continuidad en el servicio.

## II.2 Descripción del equipo eléctrico

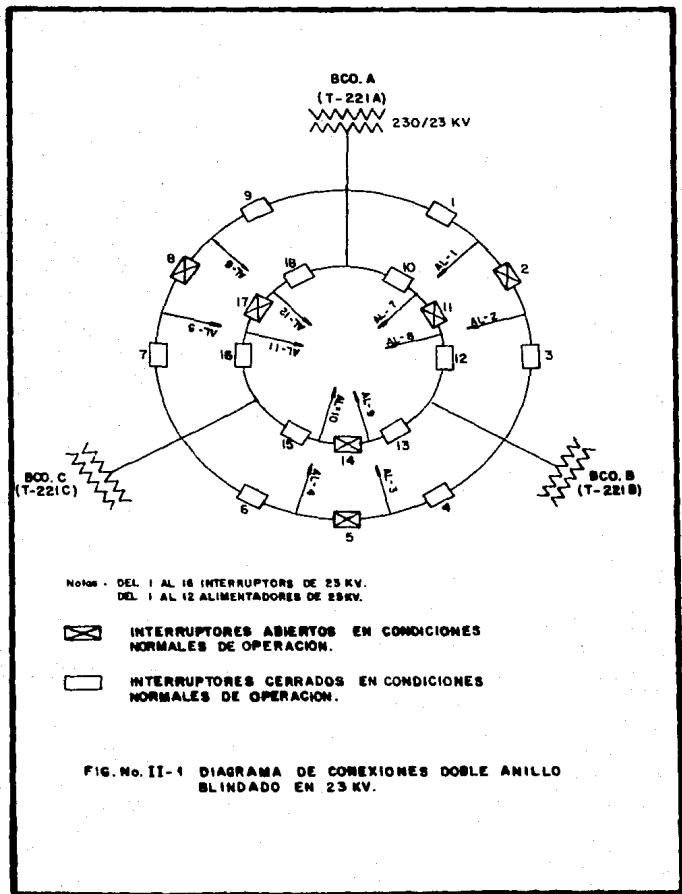
El equipo eléctrico empleado para esta subestación puede dividirse por zonas.

De 230 KV

De Bancos o Transformadores de Potencia.

De 23 KV

La zona de 230 KV, comprende la alimentación de la subestación por medio de una línea de transmisión, mufas de salida -- de cables, cuchillas desconectoras sin potencial, cuchillas de puesta a tierra, interruptores de potencia, con transformadores de corriente tipo boquilla (para medición, control y protección), - -





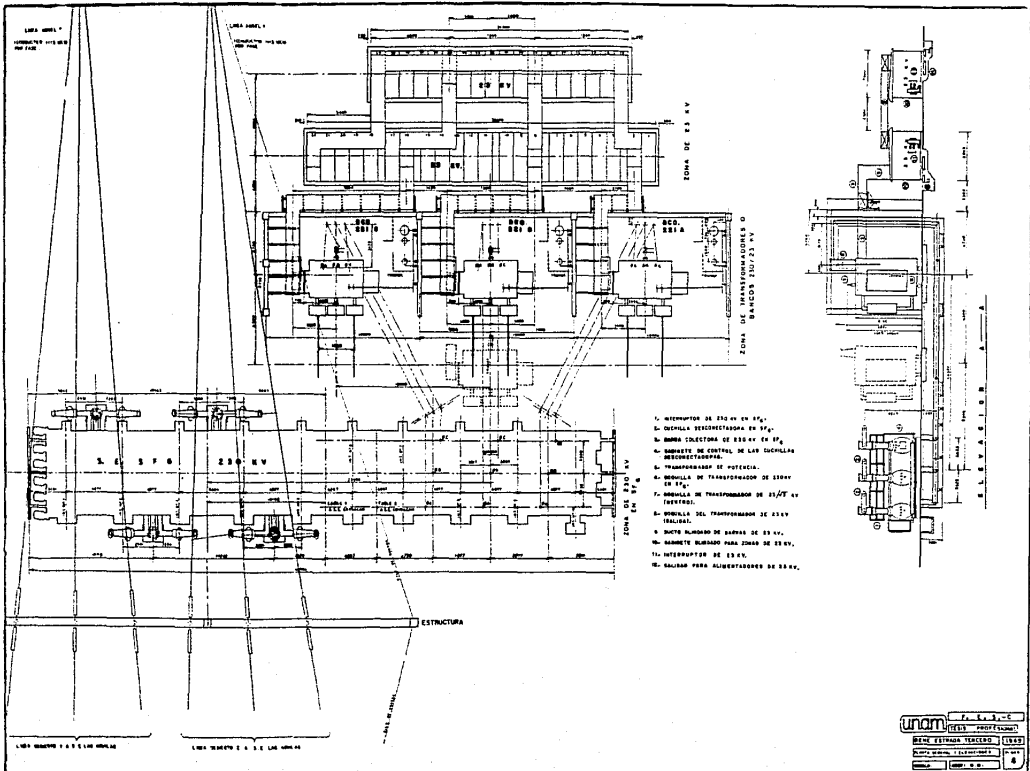
transformadores de potencial equipo de monitoreo o muestreo del -- gas SF<sub>6</sub>, sistema de tierras, herrajes y estructuras soporte, etc.

A excepción de los herrajes, red de tierras y estructuras soporte así como las líneas de transmisión, todo el equipo se encuentra encapsulado en SF<sub>6</sub> usando como aislamiento este gas.

En los planos 4, 5 y 6 se puede observar la distribución de equipo o disposición física que tiene la zona de 230 KV.

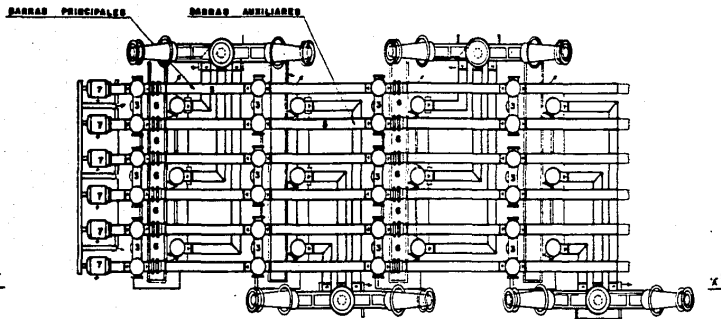
Por considerar que la zona de 230 KV, es nueva en su tipo a nivel de construcción, en los subincisos siguientes se trata brevemente la descripción de sus componentes, para familiarizarse con la técnica empleada en el manejo de SF<sub>6</sub> y su equipo, que en sí cubre toda la zona de 230 KV. Por lo anterior se puede considerar que, la zona de bancos y la de 23 KV no se toca con gran profundidad por ser equipo muy convencional y conocido en su montaje, operación y mantenimiento.

Los transformadores tienen 3 boquillas de A.T. c/u de diseño especial para trabajar bajo la presión de SF<sub>6</sub>. En el plano No. 4 (Ver detalle de elevación) se observa que el sistema de gas. hexafluoruro de azufre llega a envolver las boquillas del transformador hasta las entradas del lado de alta tensión del mis



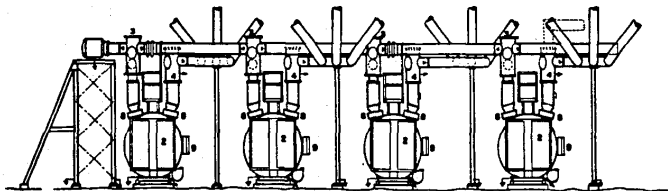
- 1. INTERRUPTOR DE 220 V EN 1<sup>o</sup>.
- 2. BOBINA COLECTORA DE 230 V EN 1<sup>o</sup>.
- 3. BOBINA DE CONTROL DE LAS CUCHILLAS DE RECTIFICACION.
- 4. TRANSFORMADOR DE POTENCIA.
- 5. BOBINA DE TRANSFORMADOR DE 220V EN 1<sup>o</sup>.
- 6. BOBINA DE TRANSFORMADOR DE 230V EN 1<sup>o</sup> INTERNO.
- 7. BOBINA DEL TRANSFORMADOR DE 230V EXTERNO.
- 8. BOBINA ALIMENTADA.
- 9. BOBINA ALIMENTADA PARA ZONA DE 230 V.
- 10. BOBINA ALIMENTADA PARA ZONA DE 230 V.
- 11. INTERRUPTOR DE 230 V.
- 12. SALIDA PARA ALIMENTADORES DE 230 V.

**unom** F. A. S. C. E.  
 INGENIEROS PROFESIONALES  
 INGENIEROS EN ELECTRICIDAD  
 INGENIEROS EN ELECTRONICA  
 INGENIEROS EN MECANICA  
 INGENIEROS EN QUIMICA



1

2



ELEVACION A A

unam

F. E. S.-C

TESIS PROFESIONAL

RENE ESTRADA TERCERO

1989

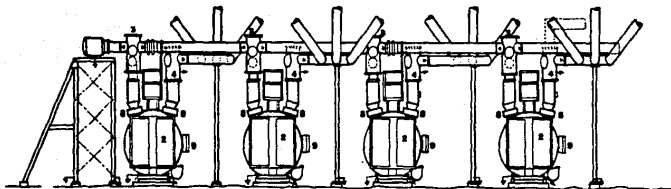
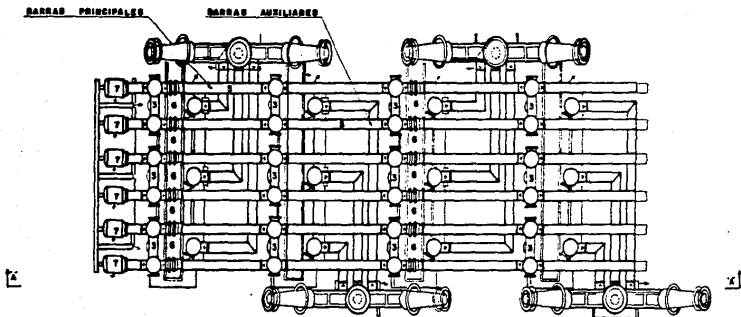
PLANTA Y ELEVACIONES DEL  
GRUPO DE 200 S.C. EN 1/8

PLANO

5

ESCALA

ACOT: M M



ELEVACION A A

unam F. E. S.-C.  
TESIS PROFESIONAL

RENE ESTRADA TERCERO 1989

PLANTA Y ELEVACIONES DEL EQUIPO DE 330 K.V. EN 3/2

ESCALA ACOT: M M

PLANO 5

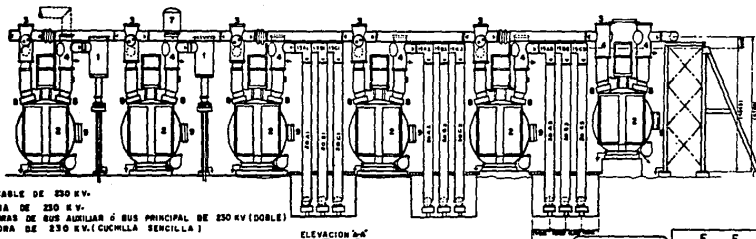
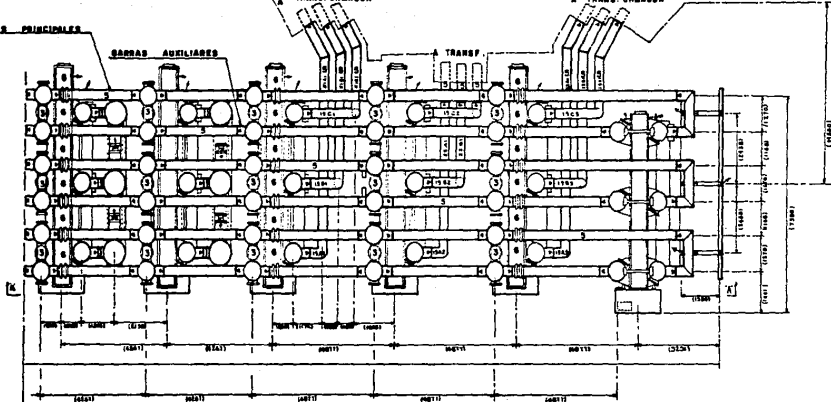
VER PLANO No. 2

BARRAS PRINCIPALES

BARRAS AUXILIARES

A TRANSFORMADOR

A TRANSFORMADOR



- 1.- MESA DE SALIDA PARA CABLE DE 230 KV.
- 2.- INTERRUPTOR DE POTENCIA DE 230 KV.
- 3.- CUCHILLAS DECONECTADORAS DE SUS AUXILIAR O SUS PRINCIPAL DE 230 KV (DOBLE)
- 4.- CUCHILLA DECONECTADORA DE 230 KV. (CUCHILLA SENCILLA)
- 5.- BARRAS DE 230 KV
- 6.- JUNTA DE EXPANSION
- 7.- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DE  $240KV/\sqrt{3}/200 \text{ V}/\sqrt{3}$
- 8.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 1200-800-400 : 5 A
- 9.- EQUIPO DE MUESTROS DEL SF<sub>6</sub>

UNION POR SOLDADURA

unam F. E. S. - C  
 TESIS PROFESIONAL

RENE ESTRADA TERCERO 1989

PLANO Y ELEVACIONES DEL EQUIPO DE 230 KV. SE. 30.

ESCALA: ACOT: N M

6

mo. La descripción de esta boquilla así como la preparación para montaje se citan en el capítulo III.

La zona de 23 KV cuenta con 18 interruptores, 12 alimentadores, 6 enlaces y 3 futuros capacitores, juegos de cuchillas desconectadoras, barras colectoras, transformador servicio de estación 3ø de 23/0.220 KV, 60 Hz, 225 KVA, juego de Cuchillas de puesta a tierra, fusibles, aisladores, soportes, mufas de salida para cable, transformadores de corriente y potencial para control, protección y medición, apartarrayos, etc., todo este equipo se encuentra distribuido en 40 celdas blindadas tipo intemperie, a prueba de explosión y de acuerdo con la distancia que le permite su nivel de aislamiento así como sus conexiones según diagrama unifilar.

En el plano No. 4 se puede observar la disposición física de las celdas blindadas que forman la zona de 23 KV, la cual -- parte desde cada uno de los transformadores de potencia con ductos blindados que encierran las salidas del transformador a la zona de 23 KV. El aislamiento en esta zona se obtiene por medio de aire -- aisladores soporte y separadores de barras colectoras hechas de resina epóxica.

La apertura de los circuitos de 23 KV., se hace por me-

dio de interruptores en pequeño volumen de aceite siendo éste el medio que sirve para la extinción del arco, estos pueden ser desconectados físicamente de las barras y ser retirados del gabinete haciendo las funciones de cuchillas desconectadoras.

### II.3 Características de la línea aérea de alta tensión 230 KV.

La característica de alimentación de la S.E. San Angel-Nueva, se realiza a través de una línea de transmisión., la cual puede definirse como línea aérea al conjunto de conductores que transportan la energía eléctrica. Los conductores, por las características eléctricas propias del material, pueden ser de cobre, aluminio-acero, y pueden ir desnudos o recubierto de distintas materias.

Estos conductores van sujetos a los aisladores, éstos a través de los herrajes, son colocados en las crucetas, que, a su vez, están sobre el poste que los mantiene distanciados del suelo.

La finalidad de estas líneas, juntamente con las subterráneas, es transportar la energía eléctrica producida en las centrales hidráulicas, térmicas o nucleares.

El transporte a alta tensión tiene una serie de complicaciones técnicas, pero se hacen necesarias debido a la economía del material conductor empleado.

Las líneas aéreas se pueden clasificar en las catego-



rias siguientes:

- a) Líneas telefónicas o telegráficas
- b) Líneas de distribución de alumbrado y fuerza
- c) Líneas de transporte de energía a gran distancia (a media y alta tensión).

### II.3.1 Conductores

Los dos materiales empleados principalmente en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque en aplicaciones eléctricas se emplean más el cobre, en líneas aéreas ha sido sustituido en gran parte por el aluminio. Si se compara el  $Cu$  y el aluminio en una línea (para una misma caída de tensión), como la resistividad del aluminio es mayor, también será mayor la sección de los conductores., esto es un inconveniente en el interior de las poblaciones, por lo que se emplea preferentemente cobre y se deja el aluminio para líneas fuera de poblaciones, donde, al ser menos pesados, los soportes y aisladores empleados son más económicos.

### II.3.2 Conductor de aluminio-acero.

Es el conductor compuesto de varios alambres de aluminio, de igual o diferente diámetro nominal, y de alambres de acero

galvanizado.

Los alambres van cableados en capas concéntricas, todos los alambres centrales son de acero y todas las capas exteriores son de alambres de aluminio.

Este conductor tiene un inconveniente con respecto al aluminio exclusivamente: que es de peso mayor, si bien las ventajas prevalecen, como es el caso de su gran resistencia mecánica, que hará disminuir el número de apoyos al poderse aumentar los vanos.

Es el conductor casi exclusivamente empleado en la actualidad, ya que, al tener menor peso, desplaza al conductor de cobre.

La resistencia mecánica a la rotura de los hilos de aluminio es de  $16 \text{Kgf/mm}^2$  y la de los hilos de acero está entre 115 y 140  $\text{Kgf/mm}^2$ .

### II.3.3 Formaciones del conductor.

Las formaciones empleadas en los conductores de alumi--

nio acero son:

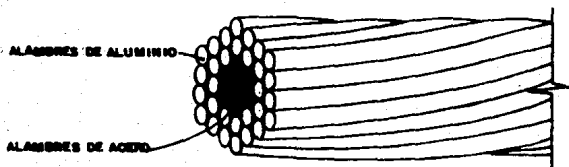
Formación 1 + 6 : alma de acero, compuesta de un alambre y capa de aluminio, de seis alambres.

Formación 7 + 30: alma de acero, compuesta de un alambre central y una capa de seis alambres, - aluminio en dos capas superpuestas de 12 y 18 alambres.

Formación 7 + 54: alma de acero, compuesta de un alambre central y una capa de seis alambres. - Aluminio en tres capas superpuestas de 12, 18 y 24 alambres.

El diámetro de los conductores de aluminio es igual que el de los de acero. A continuación se citan las características - del cable ACSR empleado.

Característica de la línea de transmisión de la S. E. San Angel Nueva



### CABLE DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO (A C S R)

Cable formado por alambres de aluminio duro colocados en capas concéntricas sobre un núcleo constituido de varios alambres de acero galvanizado, con las siguientes características.

Siendo el cable a utilizar, el de las características subrayadas

Código Estandar	ÁREA NOMINAL DEL ALUMINIO		NÚMERO Y DIÁMETRO DE ALAMBRES		DIÁMETRO TOTAL APOR.	RESO- TENSA DPS APORADA	PESO NOMINAL	CARGA DE TRABAJO EN PSI
	CM <sup>2</sup>	IN <sup>2</sup>	ALUMINIO	ACERO				
			IN	CM	CM	CM/IN	LB/CM	PSI
LINNET	170.6	330.4	26 x 2.09	7 x 2.25	16.31	0.170	683.3	530
CONDOR	403.0	790.0	64 x 3.05	7 x 3.05	27.75	0.075	1818.5	900
<u>BANSAJ</u>	<u>364.2</u>	<u>713.0</u>	<u>48 x 3.05</u>	<u>7 x 3.05</u>	<u>21.00</u>	<u>0.0811</u>	<u>1827.4</u>	<u>1110</u>

#### II.4 Características de la boquilla o mufa de salida

La alimentación a la S.E. Coyoacán se hace por medio -- de dos cables subterráneos de 230 KV., que parten de la S.E. San - Angel Nueva.

El sistema de los dos cables subterráneos, consta de -- dos tubos de acero con tres cables unipolares, en cada tubo se introduce aceite dieléctrico a presión ( $17.5 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Las características del cable se refieren a dos cables -- de potencia trifásicos subterráneos de 230 KV, del tipo de alta -- tensión con aislamiento de papel impregnado, formados cada uno, -- por tres cables monofásicos de 1000 MCM, sección circular, a dife -- rencia de los cables subterráneos utilizados en subestaciones con -- vencionales el remate de este cable se realiza a través de mufas - o boquillas diseñadas para soportar la presión de operación del -- sistema encapsulado de  $\text{SF}_6$  de barras y cuchillas.

La boquilla y el extremo del cable tanto en la S.E. - - Coyoacán como en la S.E. San Angel Nueva, son encapsulados en una -- envolvente metálica de aluminio y en condiciones de operación es -- tán trabajando a una presión de  $2.1 \text{ Kg/cm}^2$  de  $\text{SF}_6$ , trabajando éste como medio aislante, Ver fig. No. II-2.

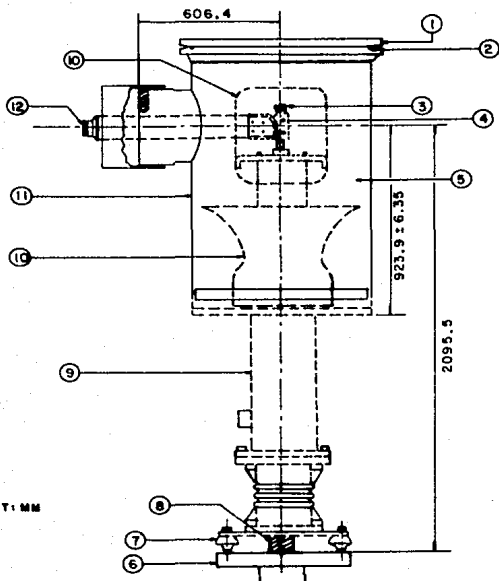


FIG. No. II - 2 TERMINAL MONOPOLAR PARA LA SALIDA DE CABLE DE 230 KV.

- 1.- TAPA O BRIDA ATORNILLABLE PARA INSPECCION
- 2.- EMPUJONES.
- 3.- VALVULA DE MUESTREO DE ACEITE DEL CABLE.
- 4.- CONECTOR ELECTRICO.
- 5.- GAS SE, Kg/cm<sup>2</sup> DE PRESION.
- 6.- ESTRUCTURA SOPORTE DE MUFA P/CABLE DE 230 KV.
- 7.- AISLADORES.
- 8.- CABLE DE ALTA TENSION, 230 KV EN ACEITE.
- 9.- MUFA DE REMATE DEL CABLE (PORCELANA).
- 10.- PANTALLA ELECTROSTATICA.
- 11.- ENVOLVENTE DE ALUMINIO.
- 12.- CONECTOR ELECTRICO (DE ACOPLAMIENTO CON EL SISTEMA AISLADO EN SF<sub>6</sub>).

## II.5 Interruptores de 230 KV en SF<sub>6</sub>

De acuerdo con el diagrama unifilar de la S.E. San Angel Nueva (ver plano No. 3), se tienen diez interruptores de potencia en SF<sub>6</sub> en la zona de 230 KV, como ya se mencionó anteriormente.

Estos interruptores cuya función es interrumpir o restablecer la continuidad de un circuito eléctrico, bajo carga en condiciones de corto-circuito, son automáticos y del tipo de doble presión, cada uno consiste de tres tanques elípticos de acero montados verticalmente soldados a una base común. El primero de ellos soporta el gabinete de control que tiene el mecanismo de operación, circuitos de control y equipo de SF<sub>6</sub>, cada uno de estos tanques forman parte del sistema de baja presión y en operación contiene gas SF<sub>6</sub>, a una presión de 3.16 Kg/cm<sup>2</sup> (45 lb/in<sup>2</sup>), manómetros a 21.09°C (70°F).

Las boquillas de entrada se localizan cerca de la parte superior de cada tanque, soportando a los contactos fijos por medio de conectores flexibles. Los contactos móviles o interruptores secundarios y sus depósitos de alta presión están soportados por aisladores montados en el fondo de cada tanque. Cada polo del interruptor consta de 4 interruptores conectados en serie formando

la trayectoria de conducción de uno a otro lado del interruptor --  
(Ver. Fig. No. II-3)

El depósito principal o tanque del gas de alta presión, está instalado debajo de las tres unidades polares para almacenar gas en cantidades suficientes para varias operaciones.

El sistema de alta presión es cargado a una presión de gas nominal de  $17.57 \text{ Kg/cm}^2$  ( $250 \text{ lb/in}^2$ ), manométricas y  $21.09^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ) de temperatura y cuenta con resistencias calefactoras, para mantener al  $\text{SF}_6$  en estado gaseoso.

Los interruptores usan doble presión de gas debido a -- que el sistema de alta presión opera durante la apertura del interruptor, por medio de la apertura de contactos, los cuales operan mecánicamente una válvula denominada como válvula de chorro que -- abre o dá paso a la salida del gas almacenado en el sistema de alta presión, para extinción del arco por medio de un chorro axial y transversal de gas  $\text{SF}_6$  que fluye a alta presión del contacto móvil al fijo. El sistema de baja presión trabaja únicamente como dieléctrico entre parte activa y tierra.

Debido a que durante la extinción del arco, y en presencia



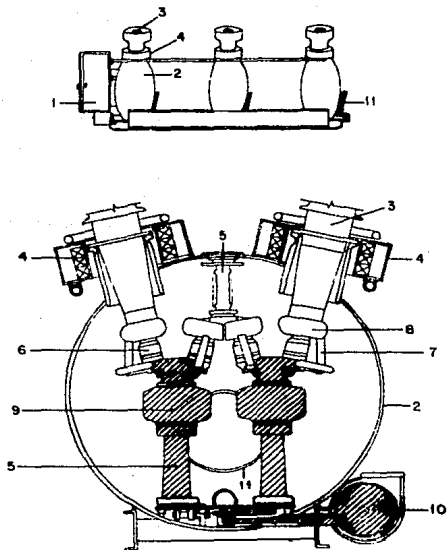


FIG. No. II-3 INTERRUPTOR DE 230 KV, EN SF<sub>6</sub>

- 1.- GABINETE DE CONTROL.
- 2.- TANQUES DE BAJA PRESION.
- 3.- BOQUILLAS DE ALTA TENSION.
- 4.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.
- 5.- AISLADOR SOPORTE.
- 6.- CONTACTOS PRINCIPALES.
- 7.- CAPACITORES.
- 8.- PANTALLAS ELECTROSTATICAS.
- 9.- SISTEMA DE ALTA PRESION.
- 10.- TANQUE DE ALTA PRESION.
- 11.- ENTRADA DE ENERGIA.

□ SISTEMA DE BAJA PRESION  
(3.16 Kg/cm<sup>2</sup>).

■ SISTEMA DE ALTA PRESION  
(17.57 Kg/cm<sup>2</sup>).

cia de humedad, así como por estar en contacto con los materiales propios del interruptor tales como: cobre, tungsteno, níquel, etc. el hexafluoruro de azufre se degrada en fluoruros inferiores o de más bajo peso molecular, esta degradación se manifiesta dependiendo de la duración del arco, en forma de ácido fluorhídrico (HF), o en forma de polvo blanco fluoruros metálicos, los cuales son tóxicos y afectan a los materiales que constituyen al interruptor.

Por esta razón, así como el costo tan elevado del SF<sub>6</sub>, este tipo de interruptores a diferencia de los que utilizan el aceite o el aire a presión como medio de extinción del arco, cuentan con un ciclo de regeneración de gas, que le permiten mantener a presión nominal y constante sus compartimientos de baja y alta presión por medio del motor compresor y filtros así como las propiedades del gas SF<sub>6</sub>.

El motor compresor opera automáticamente al detectarse baja presión de gas en el sistema de alta presión.

Los filtros trabajan para quitar las impurezas de los productos de descomposición del SF<sub>6</sub> partículas e impurezas, vapores de aceite, o humedad que se puede tener en su operación o montaje. Estos están formados por cilindros o cartuchos que contie--

nen en su interruptor alumina activada. U otro material, que --  
cumplen la función de filtros.

En la fig. II-4 se observa su diagrama esquemático del-  
ciclo regenerativo del SF<sub>6</sub> en el interruptor.

Las características del interruptor son:

Voltaje máximo = 242 KV.

Voltaje nominal = 230 KV.

Corriente de corto-circuito = 43 KA

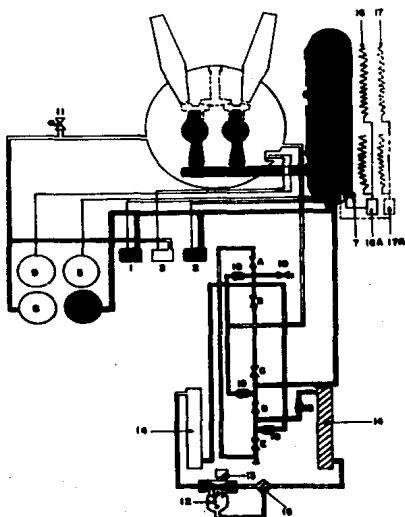
Corriente nominal = 2000 A

Tensión al impulso = 900 KV.

Frecuencia de operación = 50/60 Hz.

Tiempo de interrupción = 3 ciclos

(o de apertura)



**FIG. No. II-4 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE GAS EN EL INTERRUPTOR DE 230. KV EN SF<sub>6</sub>.**

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- CONTACTO DE MANDO</li> <li>2.- ALARMA DE BAJA PRESION SIST. DE ALTA PRESION.</li> <li>3.- ALARMA DE BAJA PRESION SIST. DE BAJA PRESION.</li> <li>4.- MANOMETRO DEL SIST. DE ALTA PRESION.</li> <li>5.- INDICADOR DE TEMP. DEL SIST. DE ALTA PRESION.</li> <li>6.- ALARMA DE ALTA TEMP. EN SIST. DE ALTA PRESION.</li> <li>7.- ALARMA DE BAJA TEMP. EN SISTEMA DE ALTA PRESION.</li> <li>8.- MANOMETRO DEL SIST. DE BAJA PRESION.</li> <li>9.- INDICADOR DE TEMPERATURA DEL SIST. DE BAJA PRESION.</li> <li>10.- VALVULA DE PULSO</li> <li>11.- VALVULA DE SEGURIDAD.</li> <li>12.- COMPRESOR DE GAS.</li> <li>13.- CONTROL DE PRESION DE ACEITE</li> <li>14.- FILTRO Y SECADOR.</li> <li>15.- SEPARADOR DE ACEITE.</li> <li>16.- RESISTENCIAS CALEFACTORAS.</li> <li>16A.- TERMOSTATO.</li> <li>17.- RESISTENCIAS CALEFACTORAS OPCIONALES.</li> <li>18.- VALVULA DE SELLO.</li> <li>19.- VALVULA DE MUESTREO.</li> </ol> | <p>— SISTEMA DE BAJA PRESION</p> <p>— SISTEMA DE ALTA PRESION</p> |
|---|---|
- A, B, C, D, E. - VALVULAS

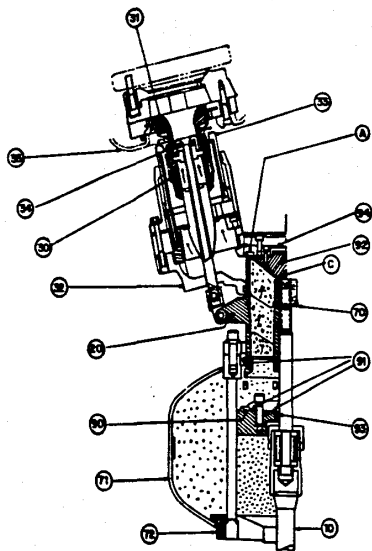
### II.5.1 Valvulas de Chorro.

La operación de la válvula de chorro, tiene como finalidad la extinción del arco, en el momento en que el contacto móvil tiende a desplazarse del fijo. Así podemos observar en la fig. No. II-5 que la válvula de chorro (20) está limitada en posición cerrada por los puntos A,B,C,D, encontrándose acoplada a la leva de mando (10) por el punto (70) de tal forma que cuando la leva de mando se desplaza en forma vertical hacia abajo, la válvula se moverá de su punto "A" en posición "1" hasta el punto "3" permitiendo el flujo de gas del sistema de alta presión, el cual en ese momento tiende a perder la presión nominal hasta el momento en que la válvula en su punto "B" llega a cerrar con el sello inferior (90)

Simultáneamente, por acoplamientos mecánicos, el contacto móvil tiende a separarse de su posición de cerrado (4) hasta la apertura total (6), abriendo así el circuito. Producto de la operación de la válvula, el  $SF_6$  fluye del sistema de alta presión a través del contacto móvil e incide en la superficie del fijo, ocasionando así la extinción del arco.

Esto obliga que durante la revisión interior se verifi-

FIG.—No. II—5 SECCION DE LOS CONTACTOS Y VALVULAS DE CHORRO DE LOS INTERRUPTORES DE 230 KV, EN SF<sub>6</sub>.



— NOTAS —

- 10- LEVA DE MANDO.
- 20- VALVULA DE CHORRO.
- 30- CONTACTO MOVIL.
- 32- SOPORTE DE LOS CONTACTOS PRINCIPALES.
- 33- PANTALLAS DE ARQUEO.
- 34- TERMINAL DE ARQUEO.
- 35- PANTALLA ELECTROSTATICA.
- 40- DISCO SOPORTE.
- 70- HERRAJE DE FIJACION DE LA VALVULA DE CHORRO.
- 71- DEPOSITO DE SF<sub>6</sub> A ALTA PRESION.
- 72- AISLADOR SOPORTE.
- 90- SELLO O EMPAQUE INFERIOR.
- 91- EMPAQUES.
- 92- SELLO O EMPAQUE SUPERIOR.
- 93- SELLO DE DESLIZAMIENTO.
- 94- EMPAQUES METALICOS (LAINAS O CUÑAS).

 ALTA PRESION DE SF<sub>6</sub>.

 FLUJO DE GAS DURANTE LA EXTINSION DEL ARCO DEL SISTEMA DE ALTA PRESION AL DE BAJA.

quen los empaques, acoplamientos mecánicos, sellos y en sí la hermeticidad de tan importante válvula, con el interruptor abierto - así como cerrado. De aquí, que es necesario presurizar el sistema de alta presión hasta  $3.51 \text{ Kg/cm}^2$  con  $\text{N}_2$  y freón para realizar la inspección por medio de un detector de gases halógenos en el interior del interruptor. Durante esta revisión no deberá operarse el interruptor cuando existe personal en el interior de éste.

Esta revisión deberá efectuarse para todos los interruptores que trabajen bajo este principio, ya que de existir fallas en la válvula, la operación del interruptor lleva como riesgo bajo nivel de aislamiento durante la extinción del arco.

#### II.6 Buses de 230 KV.

Los buses usadas en la zona de 230 KV son por sus características diferentes a las utilizadas en las subestaciones convencionales ya que su diseño, así como su instalación difieren mucho de las del tipo de cable, solera o de tubo. Para este caso, en donde toda la zona de 230 KV usa como medio aislante el hexafluoruro de azufre, los buses tienen un diseño que se acopla al sistema blindado de  $\text{SF}_6$ .

Como se puede observar en los planos No. 5 y 6 los buses cumplen su función interconectando en alta tensión, la alimentación de la subestación con cuchillas desconectoras, interruptores y transformadores, formando un circuito de doble barra con interruptor de amarre. Ya que la zona de 230 KV, está constituida por equipo en SF<sub>6</sub>, a continuación se hace una breve descripción de la construcción de estas barras. Las barras aisladas en SF<sub>6</sub> para los sistemas de alta tensión tienen las siguientes características:

- a) Un conductor tubular interno a potencial de línea.
- b) Una cubierta o envolvente metálica (aluminio), alineado con el tubo del conductor.
- c) Aisladores, ubicados a intervalos sobre lo largo del conductor, a fin de mantener el conductor centrado en la cubierta o envolvente.
- d) Un gas electrónegativo que proporciona aislamiento entre conductor y la envolvente. Existen varios gases que pueden cumplir esta función, todos con las características de la rigidez dieléctrica que aumenta en relación a la presión. Siendo para este caso el hexafluoruro de azufre el que se utiliza, aún cuando se está considerando el uso de otros gases.



Para soportar el conductor en el centro del tubo (o envoltente) se usa un aislador cónico en forma de disco construido con resina epóxida, el cual está diseñado para mantener un gradiente de potencial uniforme a lo largo de la superficie del conductor y su envoltente, también se emplean con el fin de cumplir funciones de tipo mecánico tales como:

- 1) Mantener centrado el conductor en la cubierta.
- 2) Para impedir el movimiento longitudinal del conductor.
- 3) A fin de crear una barrera de gas entre las secciones del sistema hexafluoruro de azufre.

Tanto el conductor como su envoltente son de aluminio generalmente en forma de tubo (Ver fig. No. II-5). La unión de estos buses se hace por medio de soldadura de aluminio y la conexión eléctrica entre conductores a través de conectores flexibles o zapatas.

En el capítulo III, se hace mención a los detalles de --  
ensamble.

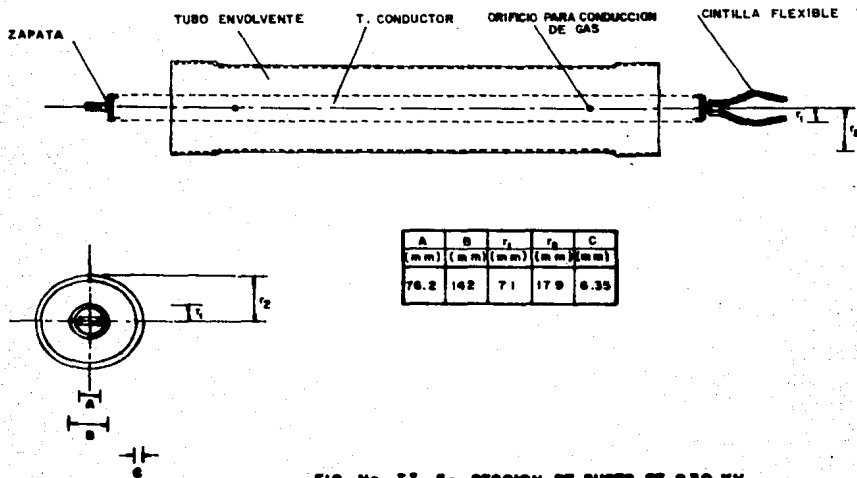


FIG. No. IJ- 8a. SECCION DE BUSES DE 230 KV  
2000 Amp , EN SF<sub>6</sub>.

El espacio entre conductor y envolvente, para condiciones de operación, esta presurizado con hexafluoruro de azufre a una presión de 2.109 Kg/cm<sup>2</sup>.

La selección del aislador soporte ha sido motivo de investigaciones para la selección del tipo, forma y material adecuado para la aplicación a barras de fase aislada en SF<sub>6</sub> en función de su rigidez dieléctrica y gradiente de potencial sobre su superficie de acuerdo con su forma, tipo, ángulo de inclinación y acabado de su superficie. Para el tipo de aislador usado se presenta una gráfica (Ver. Fig. No. II-6) en la que se manifiesta la rigidez dieléctrica del aislador, en función de su forma y la presión de SF<sub>6</sub>, a la cual está sometido, comparado con otro tipo de aislador de material diferente como lo es el teflón considerando que éstos se encuentran sin impurezas en su superficie, ya que la presencia de éstas da lugar a fallas en el compartimiento de la rigidez dieléctrica de los aisladores

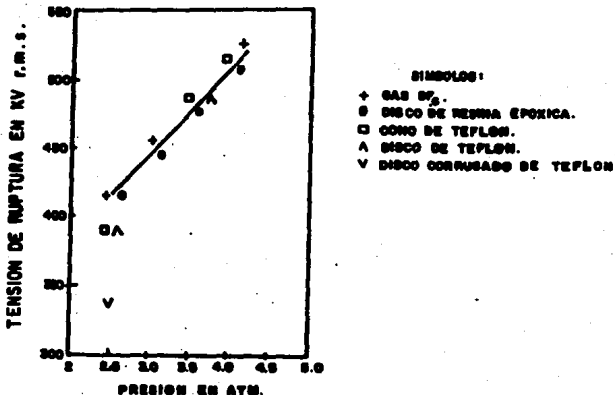


FIG. No. II-6 ESFUERZOS DIELECTRICOS DE AISLADORES DE DIFERENTES MATERIALES Y FORMAS EN SF<sub>6</sub>.

Esta gráfica da una idea por la cual se seleccionó entre varias alternativas el uso de este aislador.

Este estudio no es el único en su tipo y deja ver la posibilidad de analizar otros que pudiesen cambiar el diseño siendo que no es éste el propósito de éste trabajo de tesis, sólo se cita aquí, como un concepto general para familiarizarse con el equipo.

El comportamiento del campo eléctrico, así como su rigidez dielectrica del aislador se ven alterados, cuando sobre éstos existen rugosidades, fisuras, polvos, humedad y otros contaminantes, así como por otras influencias tales como aristas o defectos de acabado sobre el conductor o la envolvente. En la fig. II-7 se presenta una gráfica donde se analiza el comportamiento del voltaje de ruptura a tensión de perforación del aislamiento cuando en el gas  $SF_6$  o en la superficie de los aisladores, de varias formas y materiales se presentan pequeñas partículas contaminantes.

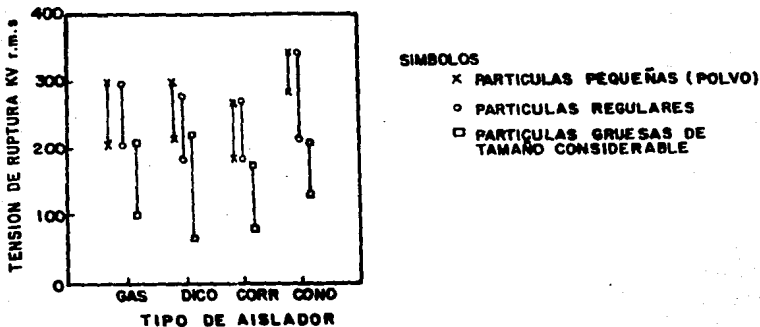


FIG. No. II-7 NIVEL DE DESCARGA EN AISLADORES CONTAMINADOS BAJO UNA PRESION DE 2.5 atm DE  $SF_6$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## II.7 Gradiente de potencial en buses.

El máximo gradiente de potencial a voltaje no disruptivo de impulso en torno al conductor y, a cualquier distancia de éste se puede calcular bajo la siguiente expresión.

$$E \text{ max} = \frac{V}{\epsilon \times K} \dots (2.1)$$

Donde:

E = Gradiente de potencial a una distancia "X" del radio del conductor.

V = Voltaje del sistema.

$\epsilon$  = Constante dieléctrica del SF<sub>6</sub>.

K = Constante

X = Distancia

Así tenemos que de acuerdo con los datos de la Fig. --

No. II-5a.

$$r_1 = 71 \text{ mm}$$

$$r_2 = 125.11 \text{ mm}$$

$$r_3 = 179 \text{ mm}$$

$$\epsilon = 1$$

$$V = 230 / \sqrt{3} = 132.79 \text{ KV.}$$

(  $r_2$  = radio propuesto)

Donde

$K$  = Constante.

$$K = \frac{I_n \frac{r_2}{\epsilon}}{\frac{r_1}{\epsilon}} + \frac{I_n \frac{r_3}{\epsilon}}{\frac{r_2}{\epsilon}}$$
$$K = \frac{I_n \frac{125.11}{71}}{1} + \frac{I_n \frac{179}{125.11}}{1} = \frac{0.5665}{1} + \frac{0.3582}{1} =$$

$$K = 0.9247$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2.1)

Para  $r_1$  :

$$E_{r_1} = E_{\text{máx. } r_1} = \frac{132.79}{1 \times 71 \times 0.9247} = \frac{132.79}{65.65} = 2.022$$

$$E_{\text{máx } r_1} = 2.022 \text{ KV/mm.}$$

Para  $r_2$  y sustituyendo valores en la ecuación (2.1)

$$\text{Para } r_2 = E_{\text{máx } r_2} = \frac{132.79}{1 \times 125.11 \times 0.9247} = \frac{132.79}{115.69} =$$

$$E_{\text{máx } r_2} = 1.14 \text{ KV/mm.}$$

Para  $r_3$  sustituyendo valores en la ecuación (2.1)

$$E_{r_3} = E_{\text{máx } r_3} = \frac{132.79}{1 \times 179 \times 0.9247} = \frac{132.79}{165.52}$$

$$E_{\text{máx } r_3} = 0.802 \text{ KV/mm.}$$



De aquí que el espacio de gas entre el conductor y la cubierta, a un voltaje de régimen a 60 ciclos, presenta la siguiente curva de voltaje (Ver fig. No. II-8), el cual varía de la superficie del conductor de 2.022 KV/mm. a 0.802 KV/mm en la superficie de la envolvente.

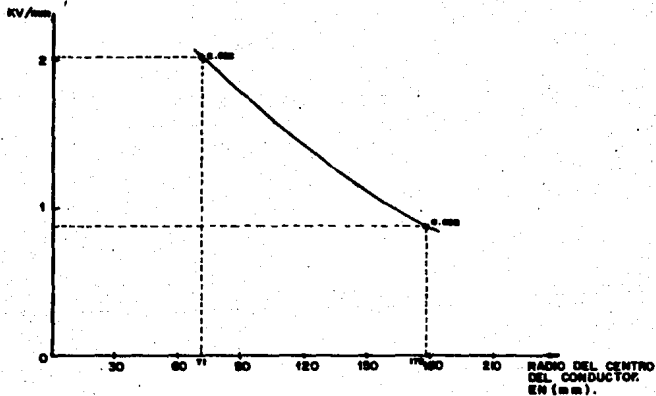


FIG. No. II-8 COMPORTAMIENTO DEL GRADIENTE DE POTENCIAL EN LOS BUSES DE 230 KV, EN SF<sub>6</sub> ENTRE CONDUCTOR Y ENVOLVENTE.

Para este caso el comportamiento de la rigidez dieléctrica del  $SF_6$  es la siguiente:

Considerando tener en los buses una presión de 1 Atm. - (1.013 bars) a 25°C, en un 90% de volumen de  $SF_6$  y un 10% de aire y de acuerdo con la gráfica I-10 tenemos que la rigidez.

Dieléctrica del  $SF_6$  (aún bajo mezcla con aire) es de - 9.76 KV/ mm por lo que este valor es 4.8 veces menor que el valor máximo del gradiente de potencial, además de acuerdo con la definición de rigidez dieléctrica, establece que este es el máximo -- gradiente de potencial que un aislamiento es capaz de soportar - sin que se produzca una descarga disruptiva, esto significa que - para estas condiciones el  $SF_6$  cumple con un valor adecuado de nivel de aislamiento para las condiciones de voltaje no disruptivo - en los buses, es decir en condiciones normales de operación. No obstante que la rigidez dieléctrica del  $SF_6$ , aumenta al incrementar su presión, es de esperar que para el caso de la S.E. San Angel Nueva, donde se tiene una presión de  $2.109 \cdot Kg/cm^2$  (2.068 - -- bars), a 25°C. La rigidez dieléctrica del  $SF_6$ , tiene un índice - aceptable de aislamiento, para los buses y en sí para todo el - equipo de 230 KV, más aún si su estado físico no presenta mezcla - con otros gases.

Para condiciones de voltaje, arqueo, sobre tensiones - por maniobras, o por disturbios, se requiere analizar más a fondo el comportamiento del  $SF_6$ , ya que sus valores de tensión de perforación varían de acuerdo al campo eléctrico y una serie de factores que son de gran importancia, la cual amerita un estudio e investigación para determinar los índices de seguridad de equipo, - que no han sido hasta la fecha determinados con exactitud.

En la vecindad del aislador el campo dieléctrico del aislador es aproximadamente de 5, mientras que en el gas (ver. -- fig. No. II-9), es 1, ésta es una de las razones por las cuales - es importante la forma de los aisladores soporte en este tipo de bus aislado en  $SF_6$ , para este caso la distribución de voltaje es casi uniforme en el centro del aislador así como el gradiente de voltaje uniforme a lo largo de su superficie.

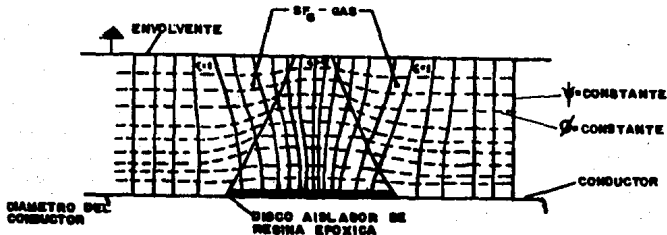


FIG. No. II - 9 LINEAS EQUIPOTENCIALES EN LA VECINDAD DEL CONDUCTOR

## II.8 Cuchillas desconectoras.

Las cuchillas desconectoras tienen como función desconectar físicamente los diferentes circuitos eléctricos de la subestación tales como líneas, transformadores y alimentadores.

Para el caso de la zona de 230 KV, estas forman parte del sistema en SF<sub>6</sub>, y son operadas en grupo sin carga, de operación manual o automática por medio de un mecanismo hidráulico.

Estas en su clasificación práctica se dividen en dos grupos:

"Cuchillas Dobles"

"Cuchillas Sencillas"

Siendo las cuchillas dobles las que se encargan de conectar físicamente, las barras 1 ó barras 2, según sea el caso en los interruptores y el equipo.

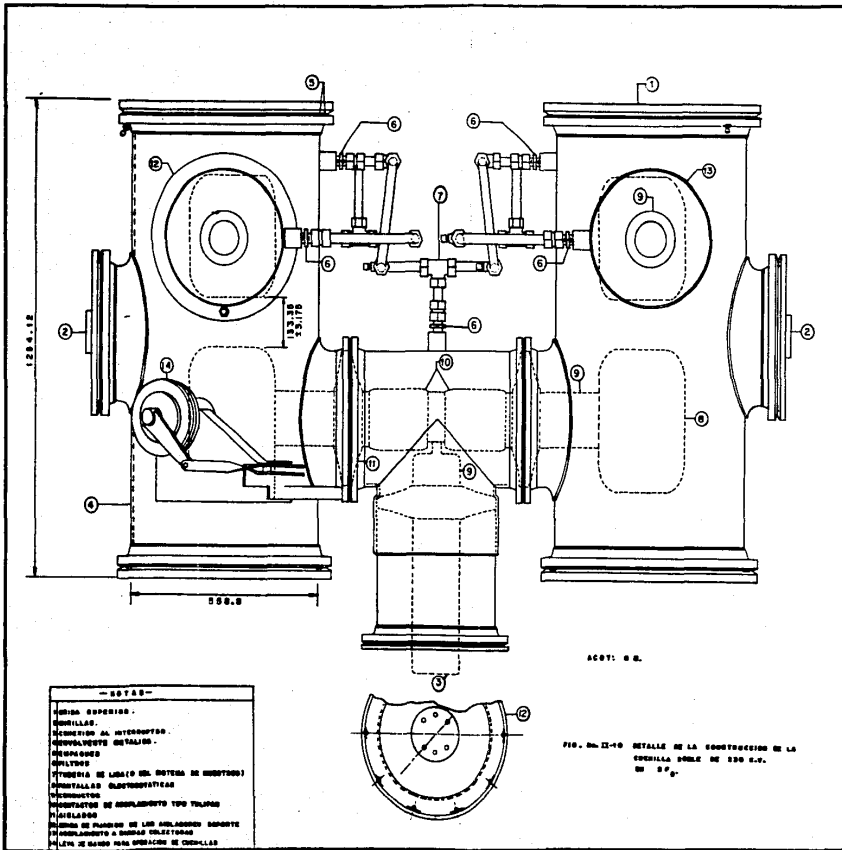
Las cuchillas sencillas únicamente cumplen su función de seccionar o conectar físicamente, las llegadas de línea A.T. - ó transformadores a sus interruptores (ver plano No. 3)

Las cuchillas dobles como las sencillas (Ver fig. -- No. II-10 y II-11), son de operación, vertical (del tipo telescópico), donde el contacto móvil hace contacto con el fijo por medio de contactos del tipo tulipán, estas se encuentran dentro de depósitos cilíndricos, y en condiciones de operación normal se encuentran sometidas a una presión de  $2.109 \text{ Kg/cm}^2$ , de hexafluoruro de azufre y tienen una capacidad de conducción de 2000 Amp.

También cuentan con un juego de cuchillas de puesta a tierra de operación horizontal.

Los aisladores soporte de los conductores, no solo trabajan eléctricamente, sino que en este caso también forman barreras que dividen al conjunto de las cuchillas en compartimientos o depósitos, estancos de gas, para facilitar las labores de mantenimiento y para operación normal estos compartimientos son comunicados por medio de válvulas y tuberías que pasan a través de filtros.

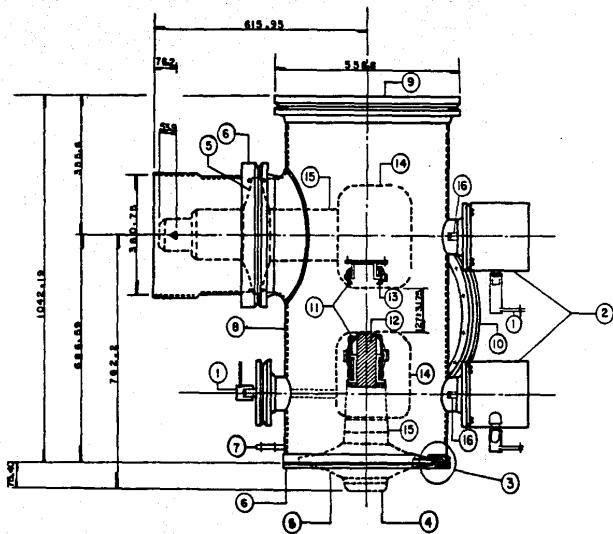
La unión de las cuchillas con los buses se hace por medio de soldadura, entre conductores con contactos tipo Tulipán, con los interruptores por el acoplamiento de bridas atornillables.



- NOTAS —
- 1) BARRA SUPERIOR.
  - 2) ESQUILLAS.
  - 3) MECANISMO AL INTERIOR.
  - 4) CONJUNTO DE ESQUILLAS.
  - 5) MANGUERO.
  - 6) BULTOS.
  - 7) TUBERIA DE LAMINADO DEL SISTEMA DE MONTAJE.
  - 8) ESQUILLAS SUBCONJUNTO.
  - 9) MANGUERO.
  - 10) CONJUNTO DE MONTAJE TUBERIA.
  - 11) BULTOS.
  - 12) BARRA DE FUNDICION DE LOS ANCLAJES SUPERIORES.
  - 13) MANGUERO A BARRAS COLECTORAS.
  - 14) LAMINADO DEL SISTEMA DE ESQUILLAS.

ACOT: S. S.

FIG. No. II-10 DETALLE DE LA CONSTRUCCION DE LA ESQUILA D'ORLE DE 120 S.F. DE 5 P.



- N O T A S -
- 1 LEVA DE MANDO OPERACION.
  - 2 DEPÓSITOS DE LAS CUCHILLAS DE TIERRA.
  - 3 DETALLE DE ENSAMBLE DEL AISLADOR.
  - 4 CONEXION AL INTERRUPTOR.
  - 5 AISLADOR BARRERA.
  - 6 BRIDAS DE SUJECION DEL AISLADOR Y DE ACOPLAMIENTO.
  - 7 ZAPATA PARA CONEXION DE TIERRA.
  - 8 ENVOLVENTE DE ALUMINIO.
  - 9 BRIDA O TAPA SUPERIOR ACCESO PARA INSTALACION DE BOQUILLAS DE PRUEBA O INSPECCION
  - 10 BRIDA DE ACCESO PARA INSPECCION Y AJUSTE INTERIOR.
  - 11 CONTACTOS TIPO TULIPAN.
  - 12 CONTACTO MOVIL.
  - 13 CONTACTO FIJO.
  - 14 PANTALLAS ELECTROSTATICAS.
  - 15 CONDUCTOR.
  - 16 CONTACTO DE LAS CUCHILLAS DE CONEXION A TIERRA.

ACOT: MM

FIG. No. II-11.-DETALLE DE LA CONSTRUCCION DE LA CUCHILLA SENCILLA DE 230 KV EN SF<sub>6</sub>.

Para el caso de la zona de 23 KV., éstas son operadas por medio de un mecanismo en grupo, manualmente, y sin carga, suprimiendo y obstaculizando su operación cuando los interruptores adyacentes se encuentren conectados a las barras ya sea en posición de apertura o cierre.

#### II.9 Equipo de Muestreo.

Para vigilar que las condiciones del sistema de SF<sub>6</sub> y estando dentro o fuera de servicio, los buses, cuchillas y los transformadores de potencial, cuenta con un sistema de muestreo y supervisión del SF<sub>6</sub>.

Este tiene como finalidad el vigilar que la densidad del SF<sub>6</sub> no llegue a bajar a valores que ocasionen baja rigidez dieléctrica en la zona de 230 KV, y está formado por contactos de presión, termostatos o indicadores de temperatura y presión, los que en conjunto trabajan compensando presión y temperatura, de tal forma que cuando la densidad del SF<sub>6</sub>, baja a un 10% de la nominal, estos contactos cierran sus auxiliares enviando una señal de alarma al tablero de control indicando así las condiciones de gas, como un segundo paso, éstos operan cuando la densidad bajó a un 20% de la nominal, provocando una señal de emergencia la - -



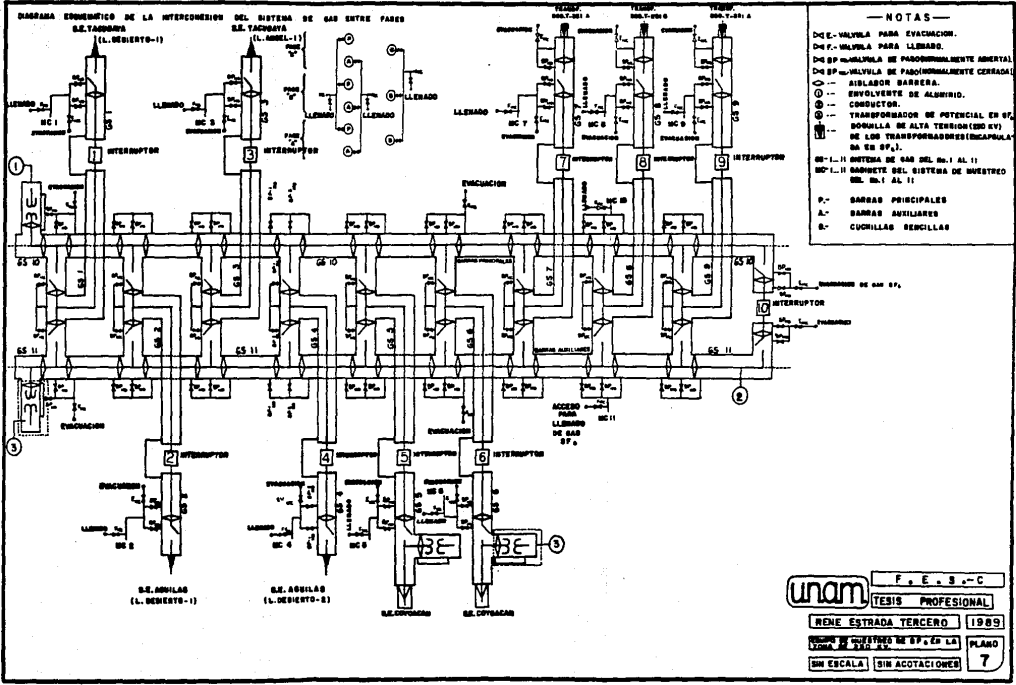
cual a consideración del operador puede originar maniobra de apertura de interruptores o transferencias de carga etc.

La S.E. San Angel Nueva cuenta con once equipos de muestreo y supervisión del gas, en barras 1 y 2, llegada de línea de alta tensión, salidas a transformadores en las 3 fases y tiene además 2 salidas para cable de 230 KV, cuenta con una gran flexibilidad ya que se acopla por tuberías y válvulas, (ver plano No. 7)

Para labores de mantenimiento así como para la construcción, este equipo es de gran utilidad ya que por sus válvulas se introduce o se retira el SF<sub>6</sub>, del sistema.

Debido a que normalmente cada sistema de gas SF<sub>6</sub> trabaja independientemente, se requiere de un gabinete de monitoreo por cada sistema para que sea en este gabinete donde se supervisen los valores nominales de operación del gas de 30 lb/in<sup>2</sup> de presión y 20°C de temperatura.

Cada gabinete de monitoreo consta básicamente de lo siguiente:



- a) Un manómetro indicador de la presión del SF<sub>6</sub>.
- b) Un termómetro indicador de la temperatura del SF<sub>6</sub>.
- c) Un relevador de densidad del SF<sub>6</sub> el cual compensa los valores de presión y temperatura, para evitar alarma cuando está bajo su valor nominal.

Alerta.- Al bajar 10% la densidad del gas SF<sub>6</sub> de su valor nominal o sea 27 lb/in<sup>2</sup> y 20°C.

Emergencia.- Al bajar 20% la densidad del gas SF<sub>6</sub> de su valor nominal o sea 24 lb/in<sup>2</sup> y 20°C.

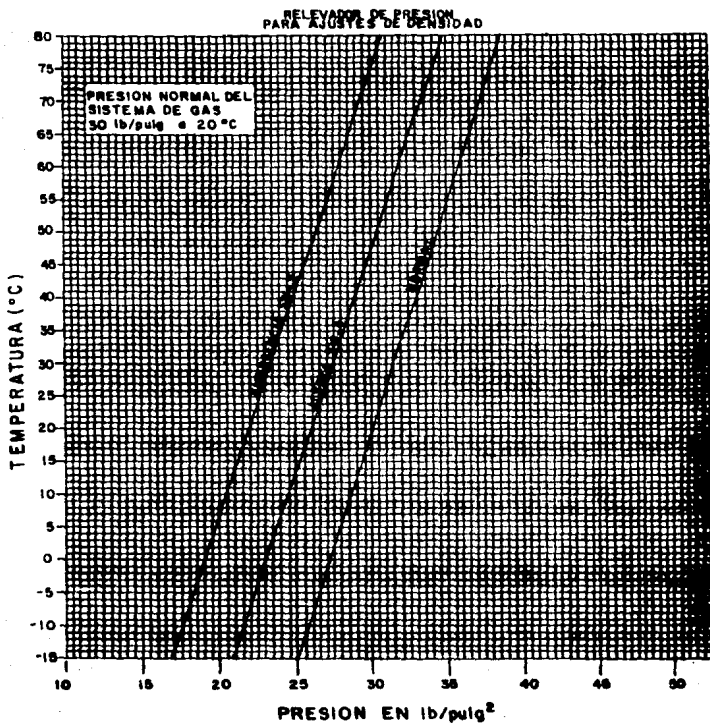
El aislamiento del gas SF<sub>6</sub> depende de su densidad a la que se encuentra dentro de los sistemas de gas, por lo que, para su supervisión se deben tener en cuenta las dos variables del gas SF<sub>6</sub>, presión y temperatura.

Debido a que la temperatura del SF<sub>6</sub> varía dependiendo de la carga y de las condiciones atmosféricas. Se requiere de -- que las alarmas que supervisan las condiciones del gas sean a través de un revelador de densidad.

Los indicadores de temperatura y presión del gas que se encuentran en cada gabinete de monitoreo de gas SF<sub>6</sub>, proporcio

nan los medios para saber si las condiciones de operación del gas, son correctas, esto se logra utilizando la gráfica de presión - temperatura de los sistemas de  $SP_6$  en buses de 230 KV (ver fig. - No. II-12). Con esta gráfica también se puede saber, si el relevador de densidad esta trabajando correctamente ya que de aquí se pueden observar los valores nominales, de alerta y de emergencia con que opera el relevador de densidad.

FIG. No. II-12 SISTEMA DE GAS(SF<sub>6</sub>) EN BUSES 230 KV



### CAPITULO III

#### ANALISIS DE LA MODIFICACION DE RUTA Y CAMBIO DE DISEÑO EN BUSES DE 230 KV en SF<sub>6</sub>, PARA LA ACOMETIDA EN BANCOS

El análisis en torno al origen del diseño, de los buses aislados en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Se hizo cuando se pudo - comparar el diseño con el de otros fabricantes, en donde el personal de la Cía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. encontró que era un mal diseño, -- es decir que el acoplamiento de los envolventes por medio de solda dura, ya se objetaba, porque implicaba demasiada labor si se compara con el acoplamiento "bridado" de otros. Así, tenemos

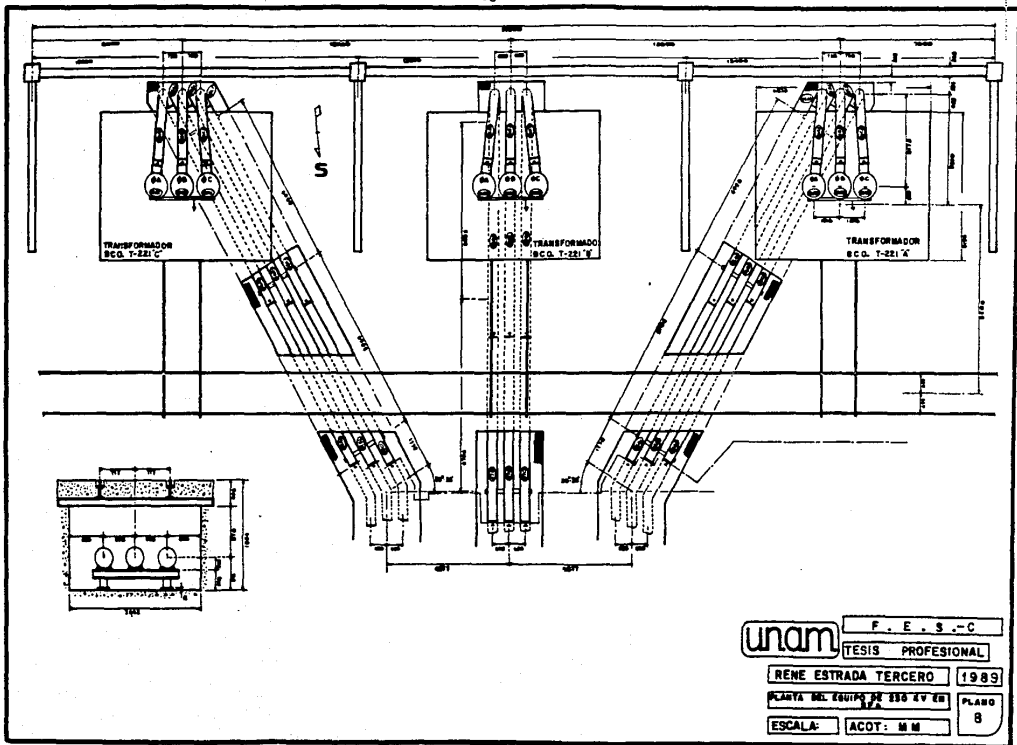
a) El diseño original y estructura del equipo, fué enviado por el fabricante de los E.E.U.U. El cual no previó, las consecuencias que acarrearía el mal transporte y almacenamiento de estos. El conjunto envolvente-bus, se envió presurizado con gas seco, y los extremos de estos buses venían sellados con tapas de hule, fijadas con abrazaderas que con las inclemencias del tiempo dichas tapas se rajaron perdiendo presión y ocasionando con esto que penetrara humedad del medio ambiente y en muchos casos agua.

b) Sin embargo, se llevó a cabo la construcción de las primeras subestaciones (Coyoacán, San Angel Nueva), aisladas en hexafluoruro de azufre. Esto traería como consecuencia fallas en los buses encapsulados, por lo que se hizo la reclamación al fabricante que diera solución a los mismos, sin lograr corregir el equipo en forma satisfactoria para la operación.

c) Por otra parte a raíz de las fallas en los buses de acometida a los bancos, se generó la idea de que la ruta subterránea por dichas acometidas, no fué nunca la mejor alternativa para este proyecto. En los planos No. 6 y 8 se muestra la ruta subterránea contemplado en el proyecto original, cabe mencionar además que con el nuevo proyecto, los buses serían más cortos si se hiciera por la parte superior (ver planos No. 12, 13 y 14), con lo que se obtendría la modificación a los tres bancos.

### III.1 Desacoplamiento de buses subterráneos, 230 KV en SF<sub>6</sub>.

Como ya se indicó anteriormente, las fallas en los buses subterráneos, generó la alternativa de realizar el completo -- desacoplamiento de estos. Para realizar la modificación de ruta y cambio de diseño en buses se requiere, contar con las particularidades del nuevo proyecto para la S.E. San Angel Nueva.



unam F. E. S. - C

TESIS PROFESIONAL

RENE ESTRADA TERCERO 1989

PLANTA DEL EQUIPO DE 110 KV EN PLANO

ESCALA: ACOT: M M 8



En el desarmado y armado de los buses, se requiere de un soldador especializado en aluminio, para tales fines. Así mismo se debe contar con una grúa hidráulica desplazable para el retiro de estos y trasladarlos al lugar donde han de ser modificados de acuerdo al nuevo proyecto y a las necesidades de campo.

III.1.1 Consideraciones antes de iniciar el desmontaje y montaje de buses en SF<sub>6</sub>, 230 KV.

El entendimiento de la naturaleza de los productos de arqueo del hexafluoruro de azufre y su relación con la operación normal y falla interna en los buses encapsulados de 230 KV, en SF<sub>6</sub>.

Lo anterior nos lleva a tener presente que todos los productos de arqueo del hexafluoruro de azufre se consideran como productos que contienen determinado grado de toxicidad. Son generalmente fluoruros de azufre de más bajo peso molecular que el SF<sub>6</sub> y que se forman en presencia de :

- a) De un arco eléctrico engendrado por la curvatura de contactos, los cuales se fabrican generalmente de tungsteno, cobre, níquel y contienen impurezas de oxígeno e hidrógeno.

- b) De impurezas del gas SF<sub>6</sub>: aire, tetrafluoruro de carbono (CF<sub>4</sub>) y vapor de agua.
- c) De soportes aislantes (aisladores) constituidos por materiales plásticos a base de carbono, hidrógeno, flúor y silicio.
- d) De otros materiales metálicos o no metálicos que constituyen - el equipo.

Los productos típicos de ruptura dieléctrica asociados con la interrupción del arco eléctrico dentro de equipos eléctricos en SF<sub>6</sub> son:

Acido fluorhídrico	HF
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Anhidrido sulfuroso	SO <sub>2</sub>
Tetrafluoruro de carbono	CF <sub>4</sub>
Tetrafluoruro de silicio	SiF <sub>4</sub>
Fluoruro de tionilo	SOF <sub>2</sub>
Tetrafluoruro de tionilo	SOF <sub>4</sub>
Fluoruro de sulfurilo	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
Tetrafluoruro de azufre	SF <sub>4</sub>
Agua	H <sub>2</sub> O

Decafluoruro de azufre	$S_2F_{10}$
Fluoruro de azufre	$S_2F_2$
Fluoruros metálicos	$S_2F_2$

Los átomos de oxígeno e hidrógeno se encuentran presentes debido a las diminutas partículas de humedad en el gas  $SF_6$ , - sin embargo, puede ser posible que se desprendan de algunos materiales asociados con el equipo, por ejemplo la resina epóxica que se utiliza como soporte dentro del equipo. Los productos de arqueo que contienen difluoruro de silicio ( $SiF_2$ ) provienen de la sílica que contiene el aislamiento de porcelana.

El olor a huevos podridos detectados después de una falla severa en el equipo eléctrico en  $SF_6$ , se debe al gas fluoruro de tionilo ( $SOF_2$ ) y ácido fluorhídrico (HF). Es deseable eliminar los productos de arqueo del  $SF_6$  para reusarse en el equipo eléctrico, para ello es conveniente recircularlo por los filtros absorbedores de alúmina activada u otro material similar que constituye el equipo.

Cuando se manejan grandes volúmenes de  $SF_6$  contaminado se justifica el uso de un equipo especial de regeneración, con el propósito de eliminar al máximo el contenido de humedad, ácidos y

productos de arqueo, como consecuencia mejorar las propiedades -- dieléctricas del SF<sub>6</sub>.

Generalmente el hexafluoruro de azufre nuevo contiene ciertas impurezas que deben evitarse al máximo, para no causar daño al equipo eléctrico. Entre ellas se encuentra el nitrógeno en dilución, no se les da importancia cuando el porcentaje es pequeño. Otra categoría de impurezas debe limitarse a cantidades tales que, en forma libre o mezcladas, no presenten peligro en la operación del equipo eléctrico. Un ejemplo de tales impurezas son: agua, ácidos y oxígeno (especialmente combinado), los cuales pueden fomentar la corrosión de las partes metálicas y originar una falla mecánica de operación, el agua en combinación con cualquier impureza ácida puede condensarse a baja temperatura de operación y alta presión, causando un peligro a la seguridad del equipo eléctrico, por tanto, las cantidades de tales impurezas deben ser pequeñas con el fin de que la corrosión y la condensación -- sean insignificantes.

No obstante que el gas hexafluoruro de azufre no tiene olor característico ni es tóxico, sus productos de arqueo presentan un efecto contrario.

En los capítulos anteriores se citan las propiedades - que tiene el equipo de 230 KV., en SF<sub>6</sub>, como resultado de investigaciones y específicamente de laboratorio y de diseño. De estas y especialmente para la zona de 230 KV, se ha observado que - para el caso de los aisladores y el SF<sub>6</sub> la humedad, polvo y otros contaminantes alteran en gran parte su comportamiento eléctrico. - Esto ha hecho que los procesos de modificación en buses sean realizados bajo estrictas normas de limpieza, al grado de compararlas con las de un quirófano. El manejar el equipo de SF<sub>6</sub> requiere de capacitar al personal en cuanto a normas de seguridad e higiene - para adaptarse al manejo de éste, ya que es de vital importancia - conservar la limpieza de las partes activas del equipo (conductores, aisladores, envolventes, accesorios, etc.) de SF<sub>6</sub> al máximo, así como del medio donde se desarrolle el trabajo, obligando a -- contar con recursos tales como: aspiradoras, guantes y bolsas de plástico (desechables), lonas, andamios etc., con el fin de limitar al máximo la contaminación de los aislamientos y así lograr - una reinstalación confiable.

Debido a que esta instalación de buses aéreos es de tipo intemperie, es decir que todos sus procesos de montaje se hacen en contacto con el medio ambiente, razón por la cual se deben extremar las medidas de limpieza.

En dicha modificación de buses encapsulados en SF<sub>6</sub>, cobra gran interés el trato que se les de en el campo así como la planificación de su almacenamiento, ya que el descuido u olvido de estos factores pueden traer graves consecuencias. Como se observa en la gráfica de la fig. No. II-7.

### III.1.2 Recursos de equipo.

Para dar inicio al cambio de ruta en acometidas de SF<sub>6</sub> a bancos T-221, es necesario contar con el equipo pesado y ligero así como del equipo de prueba. Para ejecutar el trabajo se presenta una relación de equipo y herramientas adecuadas.

- Brocas de tambor de 6" Ø, 4 1/2" Ø
- Equipo de oxi-acetileno completo
- Electrodo de tungsteno 1/8" punta roja
- Pliegos de lija
- Paquetes de fibra fina de fierro
- Pedacera de camiseta limpia ó trapo limpio.
- Alcohol etílico (pura caña).
- Resistencias calefactoras tipo regla 150 watts.
- Seguetas diente grueso.
- Limas de hojalatero

- Fardo de sogas de polipropileno de 1/2"
- Arcos para seguetas
- Lonas ahuladas
- Bolsas de polipropileno
- Cintas masking tape de 1/2" y 1" de ancho
- Guantes contra ácidos
- Guantes de polietileno
- Tablones
- Cintas de teflón 1" de ancho
- Cuerpos de andamios
- Escofinas 1/2 caña.
- Limas 1/2 caña
- Escaleras de madera de 20 ft.

Así como de atender las necesidades del personal, tales como: comedor, oficinas, vestidores, baños, etc., por lo que para los requerimientos del taller, se requiere contar con una alimentación de voltaje que permita conectar los equipos: plantas de soldar, taladros, alumbrado provisional etc., obligando a instalar un servicio de estación o transformador de 150 MVA, 3Ø, - - 23/0.220 KV.

### III.2 Ruta Crítica.

El método de ruta crítica, empleado para la modificación de buses de esta subestación da como resultado un diagrama de barras, en base a la optimización de métodos y procedimientos- este diagrama se observa en la tabla III-1

La finalidad del programa de trabajo es:

- a) Conocer los tiempos de iniciación y terminación de la obra.
- b) Programar los recursos para la continuidad del trabajo, tanto de personal como de equipo.
- c) Estimar el presupuesto por concepto de mano de obra.
- d) Vigilar el avance de la obra.
- e) Toma de decisiones.

En base a este programa de trabajo en el Capítulo V se presenta el análisis de los costos por modificación de buses. Este programa, se presenta considerando condiciones óptimas, aún con las variantes del medio ambiente. Se puede considerar que el programa de trabajo, puede reducir sus tiempos., empleando el recurso de tiempo extraordinario por labor a la jornada de trabajo. Siendo que el programa de trabajo, se cubre en un tiempo aproximado de 4 meses.



TABLA III-1 PROGRAMA DE TRABAJO PARA EL CAMBIO DE SOQUILLAS Y MODIFICACION DE BUSES DE 230 KV EN SF<sub>6</sub>, PARA LA ACOMETIDA (AEREA) EN BANCOS (T-221 X Y U).

N <sup>o</sup>	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	FIRST MES	SEGUNDO MES	TERCER MES	CUARTO MES
		SEMANAS	SEMANAS	SEMANAS	SEMANAS
1	TRABAJO DE LIMPIEZA DE LA CUBIERTA + DESMONTAJE DE SOQUILLAS				
2	INSTALACION DE SOQUILLAS EN SU POSICION ORIGINAL				
3	COMISIONES DE PRUEBAS DE SOQUILLAS				
4	COMISIONES DE PRUEBAS DE SOQUILLAS EN PLANTA DE TRATAMIENTO PACIFICO				
5	ENTRADA DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
6	PRUEBAS DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> Y ESTACIONES DE SOQUILLAS				
7	PRUEBAS ELECTRICAS A SOQUILLAS				
8	PRUEBAS DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
9	PRUEBAS DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
10	REEMPLAZO Y MONTAJE DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
11	REEMPLAZO DE NUEVAS SOQUILLAS				
12	REEMPLAZO Y COMISION DE NUEVAS SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
13	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
14	REEMPLAZO, MONTAJE Y COMISION DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
15	TRABAJO DE SOQUILLAS Y ELECTRICIDAD EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
16	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
17	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
18	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
19	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
20	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
21	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
22	REEMPLAZO PIEZAS IVA, V.C.				
23	REEMPLAZO EN LOS TUBOS ENCAJES EN LOS BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
24	REEMPLAZO EN LOS TUBOS ENCAJES EN LOS BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
25	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
26	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
27	FABRICACION DE PARCHE INVENTARIO DE REVISIONES				
28	TRABAJO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
29	REEMPLAZO EN SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
30	REEMPLAZO EN SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
31	REEMPLAZO EN SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
32	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
33	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
34	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
35	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
36	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
37	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
38	REEMPLAZO Y ARMADO DE PIEZAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
39	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
40	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
41	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
42	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
43	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
44	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
45	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
46	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				
47	REEMPLAZO DE SOQUILLAS EN BANCOS EN SF <sub>6</sub> EN SU POSICION ORIGINAL				

Los recursos de personal para ejecutar el trabajo en el tiempo programado, es de unas diecisiete personas por banco. El número de equipos, se denomina en la práctica por "cuadrillas" y consta de un oficial mecánico electricista y un ayudante.

Además de este personal se requiere los siguientes especialistas:

- a) Ingeniero residente.
- b) Sobrestantes (o maestro de obra).
- c) Operador de equipo pesado
- d) Soldadores
- e) Oficinistas y bodegueros etc. (Personal administrativo)

### III.3 Metodología para la modificación de buses encapsulados y aislados en SF<sub>6</sub>.

De acuerdo al diagrama de barras se observa que las actividades se plantean con cierto orden de preferencia así se ve, que la toma de licencia es la que da inicio a los trabajos de modificación.

En las subestaciones en las cuales se hacen algunas modificaciones, es común el tener que desconectar el equipo, es decir que se deja fuera de servicio para poder trabajar en él y para ello se debe "tomar en licencia". Siendo esta la autorización que se concede a una persona para que ella o el personal a su mando ejecuten un trabajo en alguna parte del equipo, en este caso para los buses de 230 KV, en SF<sub>6</sub> que puedan estar o no en servicio.

Los trabajos en el banco, son para realizar el cambio de boquillas Westinghouse a Haefely, para ello se requiere bajar el aceite del tanque por medio de la planta de tratamiento del mismo para ser depositado en una bolsa o pipa de 24,000 litros de capacidad.

El desmontaje de piezas del transformador, tanto en torretas como en los propios buses se realiza por medio de una grúa deslizable, este equipo es indispensable para los trabajos de modificación, este cambio se debió a que algunas de las boquillas Westinghouse no funcionaban correctamente.

Por otra parte, se realiza la extracción del SF<sub>6</sub> en los buses por medio de la planta recuperadora de gas, prosiguien-

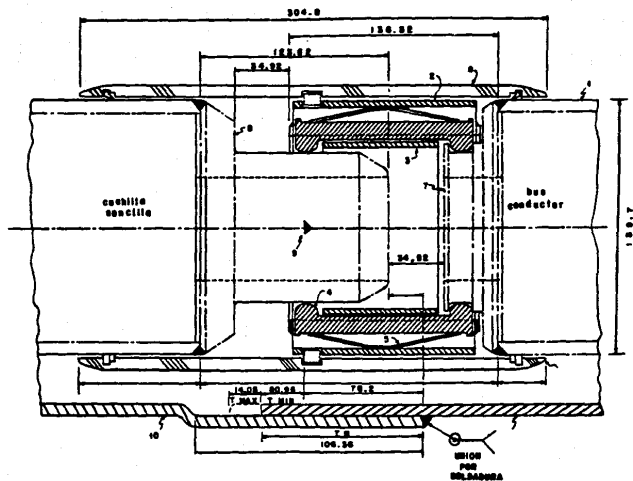
do con el desacoplamiento de los buses para ser modificados en el campo.

Paralela a ésta actividad las cuchillas desconectadoras (Ver. fig. No. II-11), deberán someterse a una revisión interior, siguiendo los pasos relacionados a ésta y al término se deberá extremar los cuidados de limpieza.

El proceso de revisión consiste en limpiar cuidadosamente sus partes con toallas de papel húmedo con el solvente (de características eléctricas) usando guantes de plástico, para evitar el contacto con la mano.

A continuación se presenta una proyección del ensamble de una barra con una cuchilla por medio del conector tipo tulipán (ver plano No. 9), donde se presenta el detalle del contacto largo y corto, este ensamble es solamente utilizado en la salida del interruptor de potencia, 230 KV.

Una vez que la torreta del transformador ha sido modificada con las nuevas perforaciones que requiere la boquilla - haefely, se instala ésta, haciendo las conexiones pertinentes. -- Después de esto, el tanque está listo para recibir el aceite, el-



ENSAMBLE ENTRE BARRAS Y EQUIPO

— NOTAS —

- 1.- CONDUCTOR.
  - 2.- PORTA CONTACTOS.
  - 3.- SEPARADOR.
  - 4.- CONTACTO TIPO TOLIPAN.
  - 5.- MUELLE.
  - 6.- PANTALLA ELECTROSTATICA.
  - 7.- CONTACTO CORTO.
  - 8.- CONTACTO LARGO.
  - 9.- PUNTO DE CONTACTO NOMINAL.
  - 10.- ENVOLVENTE DEL CONDUCTOR.
- TN TRASLAPE NOMINAL.  
 TMAX TRASLAPE MAXIMO.  
 TMIN TRASLAPE MINIMO.

unam

F. E. S. - C.

TESIS PROFESIONAL

RENE ESTRADA TERCERO.

1989

DETALLE 1

PLANO 9

SIN ESCALA

ACOTACION: EN

9

cual deberá estar limpio y libre de humedad para ello se debe filtrar haciendo uso de la planta de tratamiento de aceite, para posteriormente realizar pruebas de aceite y eléctricas (ver fig. No.- III-1), donde se muestra la colocación de la nueva boquilla Hasfe-ly.

Aparte de modificar los buses, se requieren de otros - complementos como la fabricación de seguros entre aislador envolvente y aislador conductor (ver fig. No. III-2). Así como la fabricación de parches. (Ventanas de inspección) y anillos soporte - de aisladores (ver. fig. No. III-3).

También efectuar el cambio de conectores tipo tulipán - por zapata y cintilla flexible (ver plano No. 9 y plano No. 10) - las (fig. No. III-4 y III-5) indican los cambios respectivos.

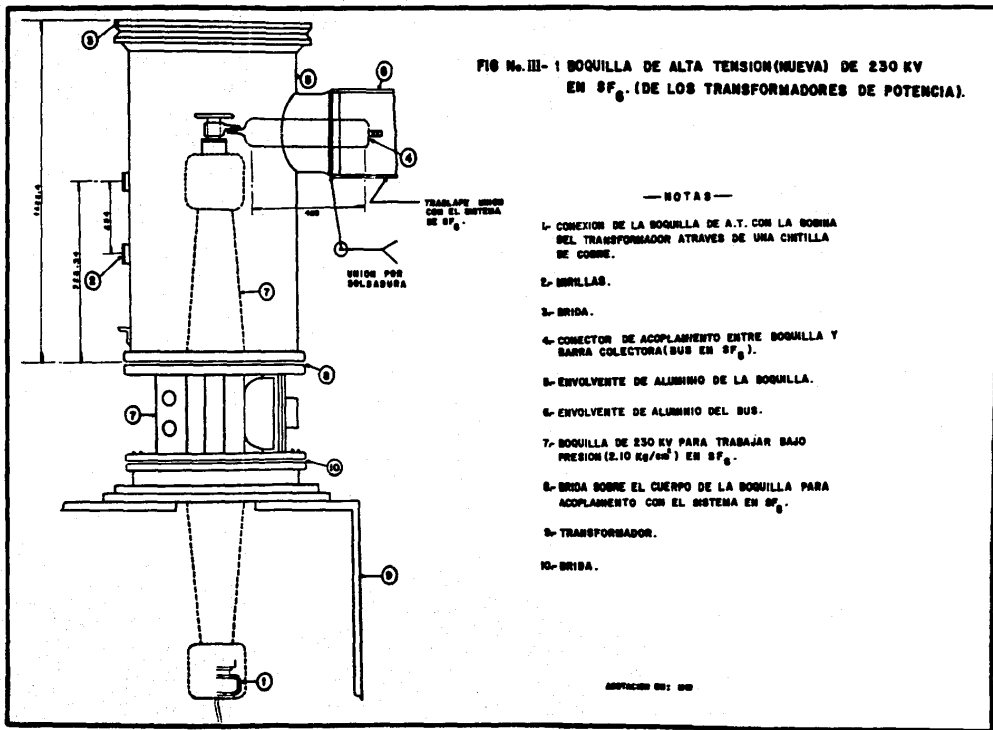


FIG No.III-1 BOQUILLA DE ALTA TENSION (NUEVA) DE 230 KV EN SF<sub>6</sub>. (DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA).

— NOTAS —

- 1- CONEXION DE LA BOQUILLA DE A.T. CON LA BOMBA DEL TRANSFORMADOR ATRAVES DE UNA CINTILLA DE COBRE.
- 2- BRILLAS.
- 3- BRIDA.
- 4- CONECTOR DE ACOPLAMIENTO ENTRE BOQUILLA Y BARRA COLECTORA (BUS EN SF<sub>6</sub>).
- 5- ENVOLVENTE DE ALUMINIO DE LA BOQUILLA.
- 6- ENVOLVENTE DE ALUMINIO DEL BUS.
- 7- BOQUILLA DE 230 KV PARA TRABAJAR BAJO PRESION (2.10 Kg/cm<sup>2</sup>) EN SF<sub>6</sub>.
- 8- BRIDA SOBRE EL CUERPO DE LA BOQUILLA PARA ACOPLAMIENTO CON EL SISTEMA EN SF<sub>6</sub>.
- 9- TRANSFORMADOR.
- 10- BRIDA.

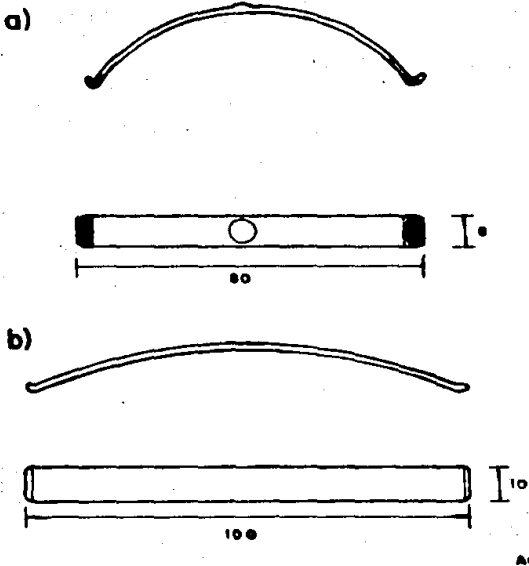


FIG. No. LII - 2 a) Segura empleado para fijar el aislador con la envoltura.  
b) Segura empleado para fijar el aislador con el conductor.



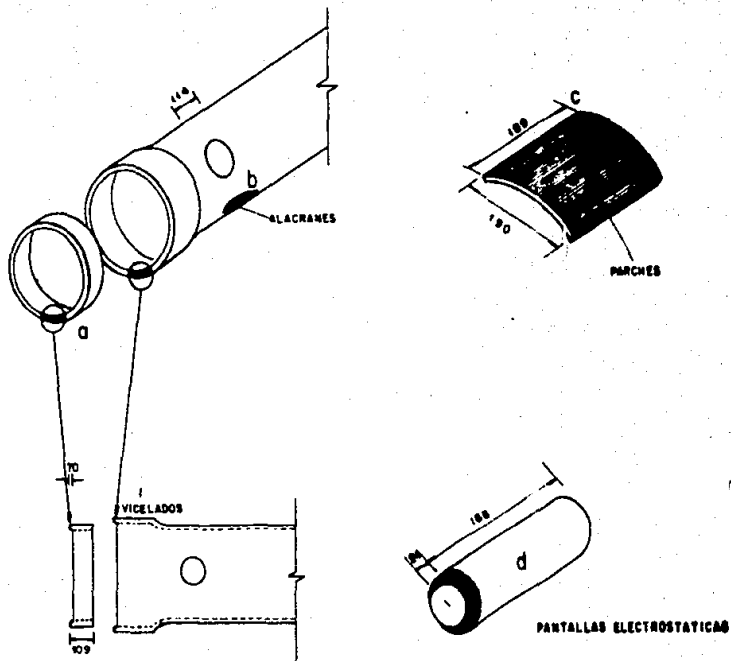
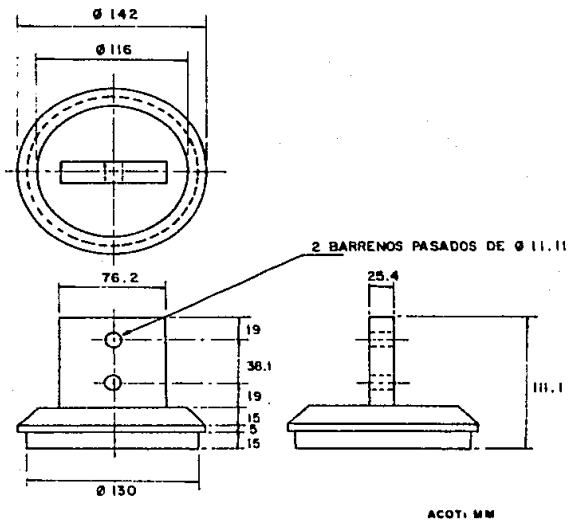


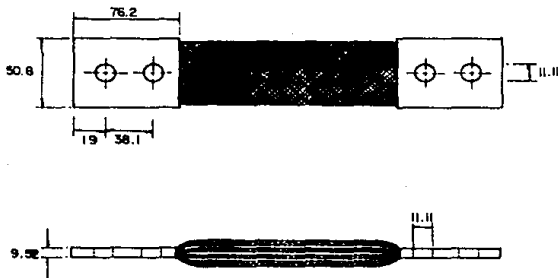
FIG. No. III - 3 a) FABRICACION DE ANILLOS SUJETADORES DE AISLADORES  
b) ALACRANES (TRAMPA DE PARTICULAS)  
c) FABRICACION DE PARCHES PARA LAS VENTANAS DE INSPECCION.  
d) PANTALLAS ELECTROSTATICAS, PARA CUBRIR UNIONES DE LOS BUSES EN  $60^\circ$ .



### CONECTOR TERMINAL PARA BUSES DE 230 KV EN SF<sub>6</sub>

ESTAS ZAPATAS SON USADAS PARA LA INTERCONEXION DE BUSES EN SF<sub>6</sub>. EL MATERIAL CON QUE SE FABRICAN SERA DE ALUMINIO.

FIG. No. III - 4

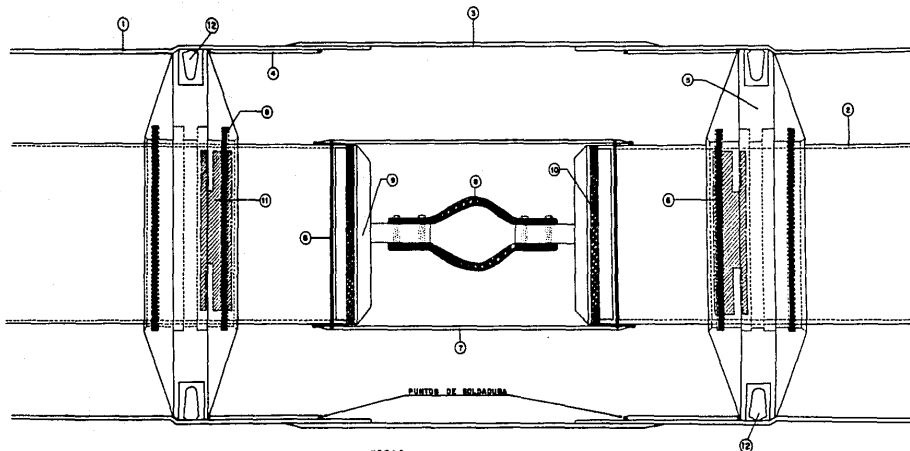


ACOT · MM

### CONECTOR FLEXIBLE DE COBRE

ESTE CONECTOR ES DE COBRE ESTAÑADO, Y ES EXTRAFLEXIBLE  
ADEMAS, QUE SIRVE PARA LA INTERCONEXION DE BUSES EN SF<sub>6</sub>.

FIG. No. III - 5



— NOTAS —

- 1.- ENVOLVENTE DE ALUMINIO.
- 2.- TIRRO CONDUCTOR DE ALUMINIO.
- 3.- CABLE DE ALUMINIO (CINTURON).
- 4.- ANILLOS SIMETRICOS DE AISLADORES SOPORTE.
- 5.- AISLADOR RESINA EPOXY.
- 6.- EMPAQUE (BORRES).
- 7.- PANTALLA ELECTROSTATICA.
- 8.- CONDUCTOR FLEXIBLE DE COBRE (CINTILLA).
- 9.- CONEXION ZAPATA (ALUMINIO).
- 10.- UNION POR SOLDADURA (CONDUCTOR ZAPATA).
- 11.- LAMBRAS (ESPATULAS).
- 12.- RESUBOS DEL ENVOLVENTE - AISLADOR.

<b>unam</b>	F. E. E. B. - C
	TESIS PROFESIONAL
	RENE ESTRADA TERCERO 1988
	DETALLE NUM. 2 PLANO 10
EN UNIDAD	COTACION EN US

Las modificaciones que han de sufrir los conductores y envolventes se efectuarán en piso de acuerdo al nuevo proyecto y necesidades que marque el campo. Y como ya se mencionó para ello se da una lista del material que ha de ser requerido para tal fin.

Por lo que los cortes se realizarán con seguetas y se desvanecerán dichas aristas con lija, el interior de los envolventes, así como la superficie de los conductores serán lijadas perfectamente para después lavarlos con agua y jabón prosiguiendo a secarlos y limpiarlos con el solvente de propiedades dieléctricas. Para ello se requiere que el personal utilice guantes de plástico para que el solvente no se mezcle con la grasa de la mano.

Dichos acoplamientos de algunas de las piezas se efectuarán en piso, para luego ser trasladados al lugar donde han de ser instalados a la altura adecuada, para ésto se requiere de una grúa deslizable que auxilie al personal que interviene en la realización de este trabajo, una vez que han sido acoplados se sujetan tomando como base los andamios y otros elementos.

Posteriormente se procede a la aplicación de la soldadura la cual se realiza en frío y con electrodo de aluminio de -- 3/16"  $\phi$  y de aleación 4043.

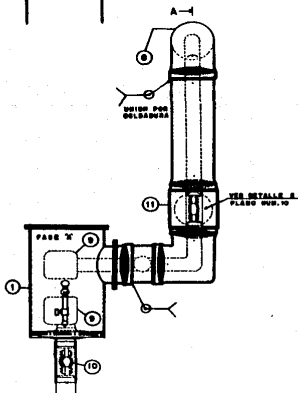
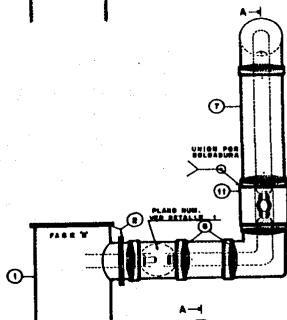
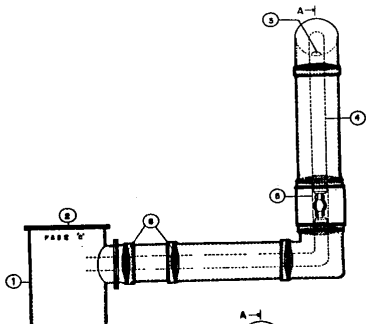
El montaje o acoplamiento de los buses y entre las cuchillas y los buses requieren de los mismos recursos, precauciones y limpieza para cada una de las fases.

Se inicia la limpieza final por conducto de las ventanas de inspección, para lo cual se requiere de nuevo usar guantes de plástico, toallas húmedas con solvente eléctrico. Al cabo de esto son sellados los parches que cubren las ventanas, por medio de la soldadura de aluminio (ver planos No. 11, 12, 13 y 14).

Quedando preparados para las pruebas descritas en los subincisos siguientes. En base a esto el método propuesto puede considerarse como óptimo ya que cumple con los procedimientos y pruebas mínimas obligatorias para la correcta instalación de buses aéreos en SF<sub>6</sub>.

### III.3.1 Prueba de hermeticidad

La prueba de hermeticidad tiene como objetivo, verificar la existencia de posibles fugas en el sistema, de buses en SF<sub>6</sub>. Esto se debe a que el gas trabaja como aislamiento, por lo que las fugas de éste producidas por defectos de soldadura, provocan fallas de aislamiento al perder presión (de SF<sub>6</sub>) el sistema acelerando así, el riesgo de ocurrir una falla eléctrica además por el costo tan elevado del SF<sub>6</sub> se requiere de un especialista en soldadura de aluminio.

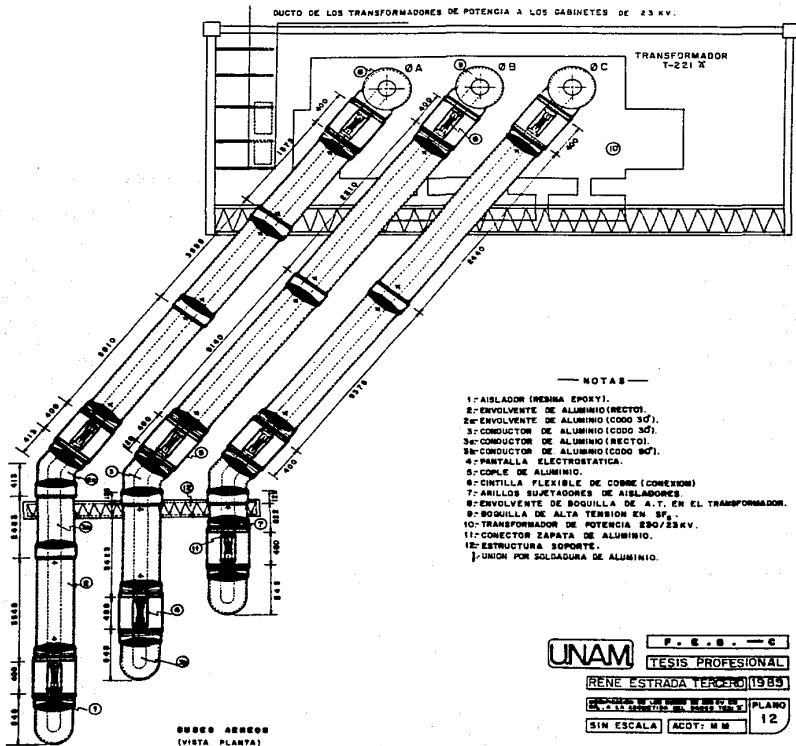


— NOTAS —

- 1: ENVOLVENTE DE ALUMINIO DE LA CUCHILLA SENCILLA DE 880 KV.
- 2: BRIDAS.
- 3: ALACRAN.
- 4: BUS CONDUCTOR (ALUMINIO).
- 5: PANTALLA ELECTROSTATICA.
- 6: AISLADORES DE DISCO.
- 7: ENVOLVENTE RECTO DE CONDUCTOR (ALUMINIO).
- 8: CODO ENVOLVENTE A 90° DE ALUMINIO.
- 9: PANTALLAS ELECTROSTATICAS DE LA CUCHILLA SENCILLA DE 880 KV.
- 10: CONDUCTOR FLEXIBLE DE COBRE (CINTILLA).
- 11: COPLES ENVOLVENTES DE ALUMINIO.

unam	P. E. A. B. - C
	TESIS PROFESIONAL
RENE ESTRADA YENCERO	1989
RECTORIA UNAM	PLANO 11
SIN ESCALA	ACOTACIONES: 100

DUCTO DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA A LOS GABINETES DE 23 KV.



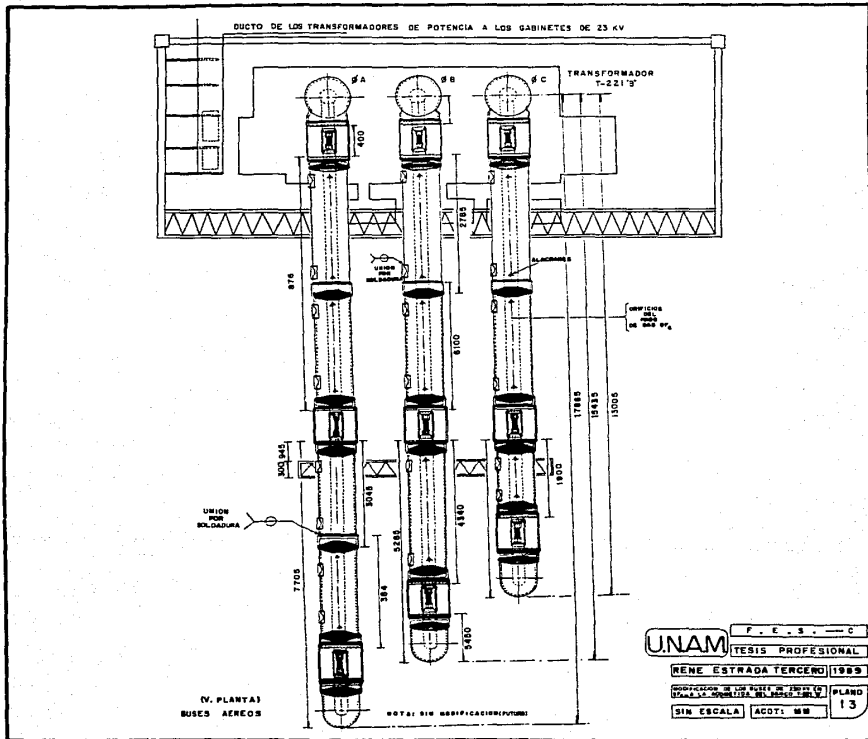
NOTAS

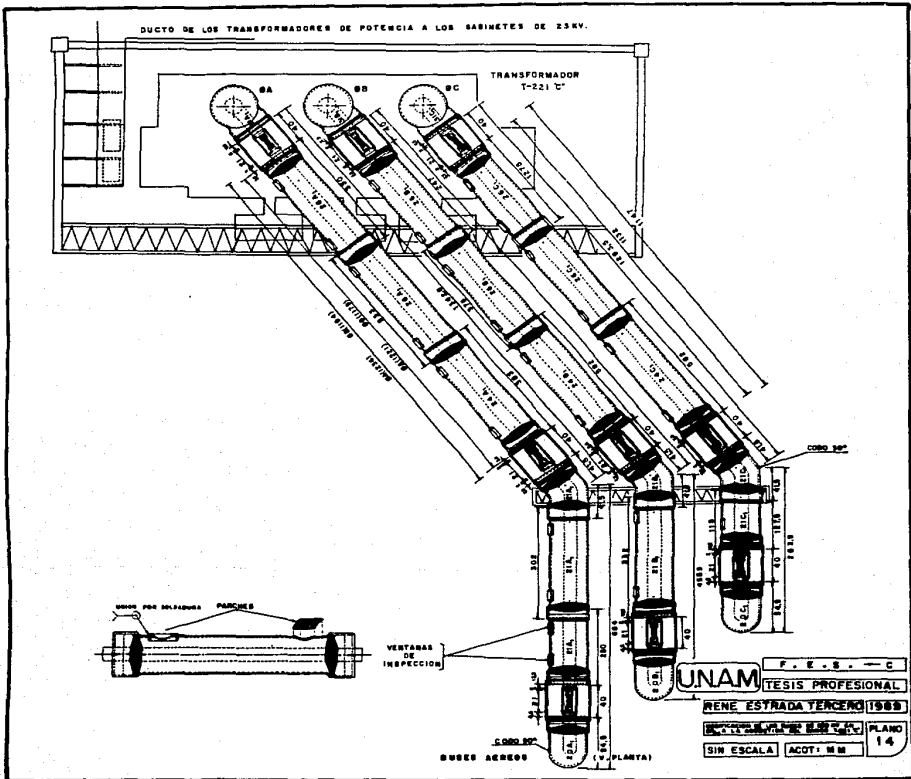
- 1: AISLADOR (RESINA EPOXY).
- 2: ENVOLVENTE DE ALUMINIO (RECTO).
- 2a: ENVOLVENTE DE ALUMINIO (CODO 30°).
- 3: CONDUCTOR DE ALUMINIO (CODO 30°).
- 3a: CONDUCTOR DE ALUMINIO (RECTO).
- 3b: CONDUCTOR DE ALUMINIO (CODO 90°).
- 4: PANTALLA ELECTROSTATICA.
- 5: CABLE DE ALUMINIO.
- 6: CINTILLA FLEXIBLE DE COBRE (CONEXION).
- 7: ARILLOS SUJETADORES DE AISLADORES.
- 8: ENVOLVENTE DE BOQUILLA DE A.T. EN EL TRANSFORMADOR.
- 8a: BOQUILLA DE ALTA TENSION EN SF<sub>6</sub>.
- 10: TRANSFORMADOR DE POTENCIA 230/23KV.
- 11: CONECTOR ZAPATA DE ALUMINIO.
- 12: ESTRUCTURA SOPORTE.
- 13: UNION POR SOLDADURA DE ALUMINIO.

**UNAM** F. E. S. — C  
**TESIS PROFESIONAL**  
**RENE ESTRADA TERCERO** 1985  
PROCESADO POR EL SERVICIO DE ARCHIVO  
LA VIDA ELECTRICA EN LOS TRES TOS. N. PLANO  
**SIN ESCALA** ACOT: M M 12

DIBUJO AEREO  
(VISTA PLANTA)







Las pruebas de hermeticidad se pueden dividir en dos:

- a) Al exterior con el medio ambiente (caso de buses)
- b) En el interior del equipo (\_caso del interruptor).

Estas pruebas pueden llevarse a cabo en forma empírica presurizando el sistema con  $N_2$  a la presión de operación y usando jabonadura, con lo que permite localizar las fugas rápidamente, - facilitando así el corregirlas a la brevedad posible.

Este método no es muy recomendable para revisiones en el interior del equipo, sin embargo puede usarse como prueba preliminar o parcial a éste y de preferencia en el caso del inciso - "a".

La prueba de hermeticidad es parte del proceso, de la modificación de buses en  $SF_6$ , razón por la cual no debe dejarse - de ver sin interés, estudiando y analizando los medios empleados - o a usarse para garantizar esta prueba.

### III.3.2 Proceso de vacío.

Este proceso interviene como una parte muy importante-

en la modificación de buses en  $SF_6$  (ver fig. No. III-6), ya que de él se obtiene la reducción de humedad a índices aceptables para no degradar las propiedades dieléctricas del  $SF_6$ .

Por lo tanto antes de iniciar este proceso es conveniente analizar el contenido de humedad que adquiere el equipo cuando éste, se reinstala. En este caso, esta humedad será, la "Humedad-relativa del ambiente" la cual se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua existente ( $p_w$  a la temperatura de punto saturado), y la que pudiera contener estuviera saturado ( $p_s$  a la temperatura ambiente) y se expresa en por ciento. Admitiendo que el vapor de agua obedece a las leyes de los gases perfectos dicha relación será igual al cociente de las presiones parciales respectivas, es decir:

$$H.R. = \frac{p_w}{p_s} \times 100$$

Donde:

H.R. = Humedad Relativa

p.w. = Presión de vapor de agua en el aire si estuviera en el punto de rocío.

p.s. = Presión de vapor de agua en el aire, saturado a la temperatura ambiente.

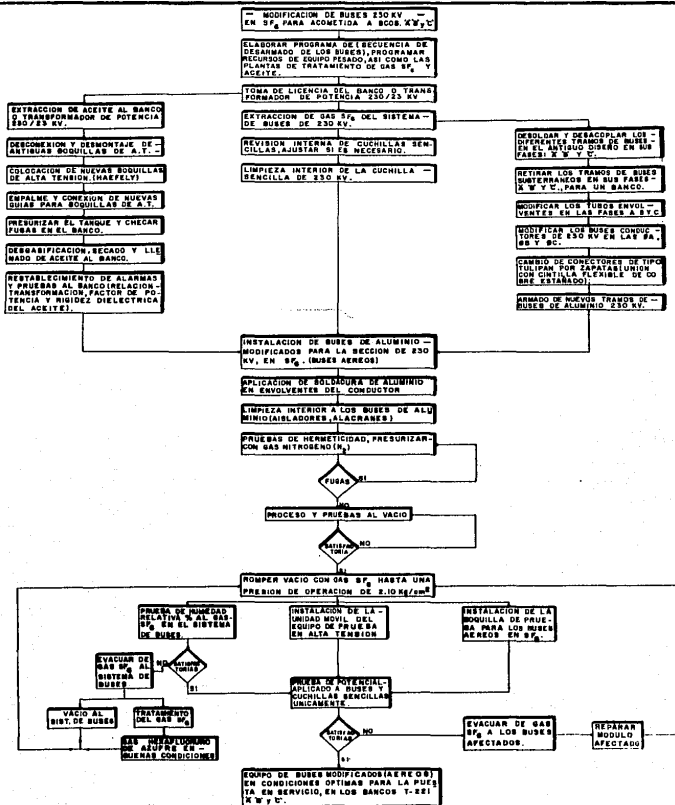


FIG.No.III-6 METODO Y SECUENCIA LOGICA DE ACTIVIDADES PARA LA MODIFICACION DE BUSES, 230 KV EN SF<sub>6</sub>.

Teniendo en cuenta que la presión de vapor de agua saturado es sólo función de la temperatura y su valor se puede hallar en las tablas correspondientes (Ver tabla III-2), será posible determinar con facilidad la humedad relativa.

Por lo que para determinar la presión p.w. se cuenta -- con instrumentos que de forma directa o indirecta dan la temperatura del punto de rocío, facilitando así por medio de la tabla III-2- determinar la presión de vapor de agua a la temperatura del punto de rocío.

Para los interruptores de potencia así como las barras y cuchillas en SF<sub>6</sub>, como punto de partida el fabricante recomienda tener un valor de vacío de 200 micrones (0.2 mm. Hg) considerando que éste valor reduce la humedad a valores que en base a la pureza del SF<sub>6</sub> no llega a incrementar el contenido en p.p.m.v. del gas.

No obstante este valor de vacío, no está normalizado -- para los diferentes equipos en SF<sub>6</sub>, sin embargo, a nivel de campo en la práctica se ha logrado mejorar este valor teniendo para este caso, lecturas del proceso del orden de 50 micrones (0.05 mm Hg) a una temperatura de 20°C.

TABLA III-2 PRESION DE VAPOR DE AGUA EN mmHg  
PARA TEMPERATURAS DE -90°C a 50°C.

Temp. °C	0	2	4	6	8
-90	0.000070	0.000048	0.000033	0.000022	0.000015
-80	0.000040	0.000029	0.000020	0.00014	0.00010
-70	0.00194	0.00143	0.00105	0.00097	0.00058
-60	0.00808	0.00614	0.00464	0.00349	0.00261
-50	0.02955	0.0230	0.0178	0.0138	0.0108
-40	0.0966	0.0768	0.0609	0.0981	0.0378
-30	0.2850	0.2318	0.1873	0.1507	0.1207
Temp. °C	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
-29	0.317	0.311	0.304	0.298	0.298
-28	0.351	0.344	0.337	0.330	0.324
-27	0.389	0.381	0.374	0.366	0.359
-26	0.430	0.422	0.414	0.405	0.397
-25	0.476	0.467	0.457	0.448	0.439
-24	0.526	0.525	0.505	0.495	0.486
-23	0.580	0.569	0.558	0.547	0.536
-22	0.640	0.627	0.615	0.603	0.592
-21	0.705	0.691	0.678	0.665	0.652
-20	0.776	0.761	0.747	0.733	0.719
-19	0.854	0.838	0.822	0.806	0.791
-18	0.939	0.921	0.904	0.887	0.870
-17	1.031	1.012	0.993	0.975	0.956
-16	1.132	1.111	1.091	1.070	1.051
-15	1.241	1.219	1.196	1.175	1.153
-14	1.361	1.336	1.312	1.288	1.264
-13	1.490	1.464	1.437	1.411	1.386
-12	1.632	1.602	1.574	1.546	1.518
-11	1.785	1.753	1.722	1.691	1.661

-10	1.950	1.916	1.883	1.849	1.817
-9	2.131	2.093	2.057	2.021	1.985
-8	2.326	2.285	2.248	2.207	2.168
-7	2.537	2.493	2.450	2.408	2.367
-6	2.765	2.718	2.672	2.626	2.581
-5	3.013	2.962	2.912	2.862	2.813
-4	3.280	3.225	3.171	3.117	3.065
-3	3.568	3.509	3.451	3.393	3.336
-2	3.880	3.816	3.753	3.691	3.630
-1	4.217	4.147	4.079	4.012	3.946
-0	4.570	4.504	4.431	4.359	4.287

Temp. °C	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
0	4.579	4.647	4.715	4.785	4.855
1	4.926	4.998	5.070	5.144	5.219
2	5.294	5.370	5.447	5.525	5.605
3	5.685	5.766	5.848	5.931	6.015
4	6.101	6.187	6.274	6.363	6.453
5	6.543	6.635	6.728	6.822	6.917
6	7.013	7.111	7.209	7.309	7.411
7	7.513	7.617	7.722	7.828	7.936
8	8.045	8.155	8.267	8.380	8.494
9	8.609	8.727	8.845	8.965	9.086
10	9.209	9.333	9.458	9.585	9.714
11	9.844	9.978	10.109	10.244	10.380
12	10.518	10.658	10.799	10.941	11.085
13	11.231	11.379	11.528	11.680	11.833
14	11.987	12.144	12.302	12.462	12.624
15	12.788	12.953	13.121	13.290	13.461
16	13.634	13.809	13.987	14.166	14.347
17	14.530	14.715	14.903	15.092	15.284
18	15.477	15.673	15.871	16.071	16.272
19	16.477	16.685	16.874	17.105	17.319



Temp. °C	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
20	17.355	17.753	17.974	18.147	18.422
21	18.650	18.880	19.113	19.349	19.587
22	19.827	20.070	20.316	20.567	20.815
23	21.068	21.324	21.583	21.845	22.110
24	22.377	22.648	22.922	23.198	23.476
25	23.756	24.039	24.326	24.617	24.912
26	25.209	25.509	25.812	26.117	26.426
27	26.749	27.055	27.374	27.696	28.021
28	28.349	28.680	29.015	29.354	29.627
29	30.043	30.392	30.745	31.102	31.461
30	31.824	32.191	32.561	32.934	33.312
31	33.695	34.082	34.471	34.864	35.261
32	35.663	36.068	36.477	36.891	37.308
33	37.720	38.155	38.581	39.018	39.457
34	39.888	40.344	40.796	41.251	41.710
35	42.175	42.644	43.117	43.595	44.078
36	44.563	45.054	45.549	46.050	46.556
37	47.067	47.582	48.102	48.627	49.157
38	49.692	50.231	50.774	51.323	51.879
39	52.442	53.009	53.580	54.156	54.737
40	55.324	55.91	56.51	57.11	57.72
41	58.34	58.96	59.58	60.22	60.88
42	61.50	62.14	62.80	63.48	64.17
43	64.80	65.48	66.16	66.88	67.56
44	68.28	68.97	69.68	70.41	71.14
45	71.88	72.62	73.36	74.12	74.88

El vacío al equipo se hace por medio de las válvulas - que cuenta para este fin denominadas como de evacuación tanto en el interruptor como en el sistema de buses y cuchillas (ver plano No. 7).

Es recomendable usar filtros entre el sistema bajo vacío y la bomba de vacío, con la finalidad de evitar el paso de vapores de aceite de la bomba al sistema para garantizar así la limpieza en el interior del equipo.

Para definir el vacío que se tiene en el sistema se -- utiliza un medido de vacío de columna de mercurio, en el cual se registra el valor de la presión de vacío alcanzada en el sistema, por lo que para determinar el índice de humedad que se tiene en el sistema deberán tomarse los siguientes datos:

- Presión de vacío.
- Punto de rocío bajo vacío
- Temperatura ambiente.

Estos parámetros deberán ser registrados con respecto al tiempo, en gráficas por separado para cada equipo, para observar el comportamiento del proceso y así determinar el momento de

suspenderlo, para efectuar el llenado de gas ( $SF_6$ ) al sistema de buses. Como ejemplo se cita aquí el comportamiento del proceso de vacío, en uno de los buses. (Ver tabla III-3).

**TABLA III-3 MEDICION DEL PROCESO DE VACIO PARA UNA DE LAS FASES DE ACOMETIDA.**

HORAS DE VACIO	PRESION DE VACIO		TEMP. °C	OBSERVACIONES
	MICRONES	mm Hg		
1	ATM	ATM	21	Se inicia proceso.    Prueba de punto de rocío.
2	1000	1	25	
3	600	0.60	26	
4	200	0.20	28	
5	50	0.050	26	
6	40	0.040	25.8	
7	35	0.035	25	
8	20	0.020	22	
9	20	0.020	22	
10	15	0.015	21	
11	15	0.015	20	

En base a estos resultados cuando se tienen 4 horas en-vacio al equipo se logra la presión especificada por el fabricante, no obstante de sostener ésta, se logra abatir aún más con respecto al tiempo aún con los cambios de temperatura. Por lo que al tener 200 micrones (0.2 mm Hg), se recomienda determinar la temperatura de rocío a esta presión, para calcular el contenido de humedad y así verificar si éste se ha reducido a valores aceptables.

Así tenemos que para la presión de vacío de 200 micrones (0.2 mm Hg), el punto de rocío medido con el parámetro es: -90°C. por lo que bajo estas condiciones tenemos:

Temp. del punto de rocío = -90°C

Temp. ambiente = 28°C

De la tabla III-2, tenemos:

$p_w = 0.000070$  mm Hg.

$p_s = 28.349$  mm Hg.

$$\therefore \text{H.R.} = \frac{0.000070}{28.349} \times 100 = 0.00024 \%$$

Esto representa tener un contenido de humedad en p.p.m.

v. igual a:

total = 0.2 mm Hg.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{0.000070 \times 10^6}{0.2} = 350$$

(en p.p.m.v.)

Este valor es muy aceptable, pero puede considerarse - que en el sistema este índice es todavía mucho menor, ya que en algunos casos, por limitación en los valores de las tablas, para puntos de rocío de -90°C a 110°C prácticamente no es posible de-terminarlos con precisión. Sin embargo para el valor de vacío ob-tenido (0.015 mm Hg, se puede garantizar que el punto de rocío es de - 99°C a 110°C, dando por resultado bajos índices de humedad, - del orden de 75 p.p.m.v. o menores.

### III.3.3 Llenado de buses, con gas SF<sub>6</sub>

Previo al llenado de los equipos eléctricos con SF<sub>6</sub>, es necesario efectuar las pruebas de humedad al hexafluoruro de azufre que se utiliza para el llenado.

Estas pruebas consisten en determinar la temperatura del punto rocío del gas y así determinar su contenido de humedad en p.p.m.v. El cual, como en cierto grado dependiendo del índice de humedad que éste contenga, afecta la rigidez dieléctrica de los buses.

Los valores normalizados para el gas son:

CARACTERISTICAS	VALOR ACEPTABLE
Punto, de rocío a -- una atmósfera de -- presión en °C.	- 50
Contenido de hume-- dad a la atmósfera-- en p.p.m.v.	35

Estas características se refieren al  $SF_6$ , contenido en cilindros pero se puede considerar que estos valores son válidos para el  $SF_6$  nuevo en cualquier tipo de embarque.

Durante el llenado de los equipos eléctricos con el gas  $SF_6$ , se deben tener las precauciones necesarias para evitar que el gas se contamine con humedad, aire, etc. Una vez que los buses, han sido terminados de sus pruebas preliminares lo que procede es secar y llenar con el gas  $SF_6$ .

Para lo cual es necesario utilizar la máquina de tratamiento del  $SF_6$  durante el llenado de cualquier equipo eléctrico, con el propósito de eliminar al máximo el contenido de humedad, y otras impurezas, las cuales se limitan al utilizar filtros entre la fuente de gas y el sistema a llenar.

Para evitar que el aislante  $SF_6$  se introduzca en forma líquida, se debe calentar dependiendo de la presión y de esta forma entre en estado de vapor hasta los valores de la presión de operación del sistema, de acuerdo con la gráfica de la figura No. III- .

El proceso de llenado del  $SF_6$  amerita cuidados y pre-



cauciones en el uso de filtros y métodos particulares que para éste tiene cada equipo, por lo cual es recomendable analizarlos para planear un proceso adecuado para cada caso.

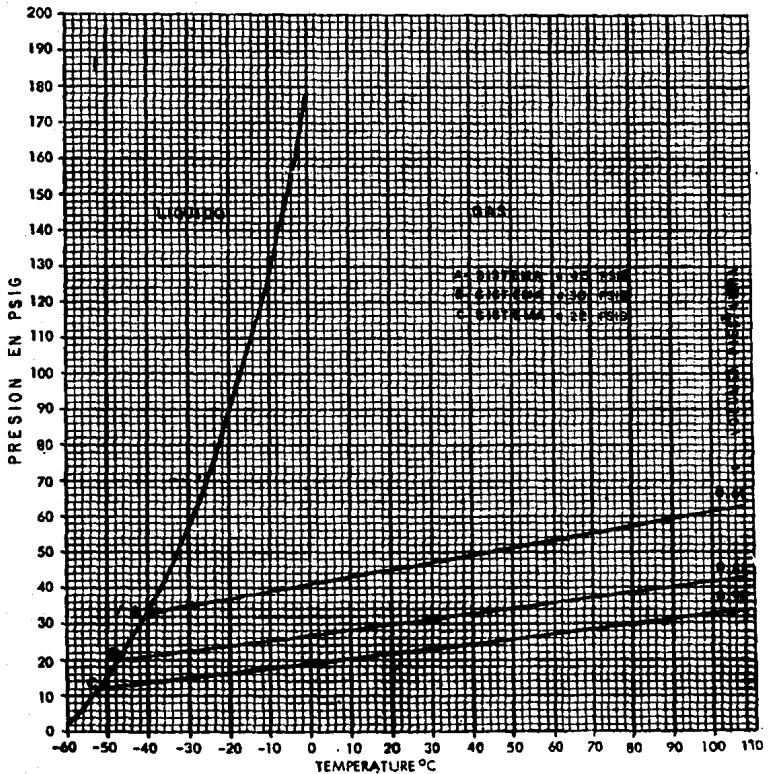


FIG. No. III-7 VARIACION DE LA TEMPERATURA Y PRESION DEL GAS B<sub>2</sub>, A DENSIDAD CONSTANTE PARA 22-30-45 PSIG A 20 °C.

#### CAPITULO IV.

##### PRUEBAS PARA EL CONTROL DEL SF<sub>6</sub>. EN BUSES DE FASE AISLADA

Las partes que determinan la vida útil del equipo eléctrico son sus aislamientos., por tanto, juega un papel importantísimo poder evaluar el deterioro del hexafluoruro de azufre con el tiempo y determinar el momento en que es necesario regenerarlo o cambiarlo antes de que se dañe el equipo eléctrico.

Las pruebas para el control del hexafluoruro de azufre en servicio se realizan con la finalidad de detectar principalmente la presencia de humedad, ácidos, aire y productos de arqueo, - los cuales dañan al equipo eléctrico.

Las pruebas que se consideran adecuadas para evaluar - las características del SF<sub>6</sub> en servicio son:

- a) Punto de rocío
- b) Contenido de oxígeno
- c) Acidez

a) Punto de rocío.- Es la temperatura en la cual el vapor de agua puede permanecer en estado gaseoso. Por medio de esta prueba es posible conocer el contenido de humedad en el gas  $SF_6$ , tomando en cuenta la presión de prueba.

Aunque no existe un valor límite normalizado del contenido de humedad en un equipo eléctrico en servicio, se recomienda mantener el contenido de humedad abajo de 300 ppm de agua por volumen, a una presión de 1 atmósfera ( $1.033 \text{ kg/cm}^2$ ), lo que equivale a un punto de rocío aproximado de  $-26^\circ\text{C}$  medido a la misma presión para que pueda continuar en servicio.

b) Contenido de oxígeno.- El contenido de oxígeno debe mantenerse bajo, para evitar el deterioro de los productos ácidos y en esta forma la corrosión de las partes metálicas.

El gas oxígeno puede admitirse accidentalmente como resultado de la existencia de fugas en las bombas durante la transferencia del gas  $SF_6$  al equipo eléctrico (buses).

c) Acidez.- Es la concentración de ácidos presentes en el gas hexafluoruro de azufre en partes por millón (ppm) por peso y calculados como ácido fluorhídrico (HF). Durante la degradación del gas  $SF_6$  en presencia de un arco eléctrico, humedad y

otros materiales, se forman ácidos, los cuales afectan a los materiales que constituyen el equipo eléctrico.

#### IV.1 Prueba de humedad relativa.

El contenido de humedad en el  $SF_6$  debe ser controlado ya que cuando esta alcanza valores muy elevados, puede provocar descargas o fallas en la superficie de los aislamientos sólidos del equipo, ya que esta humedad puede llegar por variación de temperatura a condensarse en forma de rocío sobre las superficies de los aislamientos originando así una disminución en el valor de voltaje de ruptura del aislante, razón por la cual es importante conocer los valores de humedad que el gas contenga.

Es necesario tomar en cuenta que algunas impurezas se encuentran presentes en el gas nuevo, como resultado del proceso de manufactura, otras se generan por las descargas eléctricas durante la operación del equipo.

Su importancia varía considerablemente dependiendo de la naturaleza del equipo y de las medidas tomadas por el fabricante en el diseño del mismo. Por lo que para este caso los valores máximos de contenido de humedad recomendados en función de la pru

sión de operación del sistema aislado en SF<sub>6</sub> son los siguientes.

PRESION NOMINAL DE OPERACION DEL SISTEMA DE GAS SF <sub>6</sub> A 20°C	LIMITES MAXIMOS DE: CONTENIDO DE HUMEDAD Y PUNTO DE ROCIO.					
	P.P.M.V	PUNTO DE ROCIO		P.P.M.V	PUNTO DE ROCIO	
		°C	°F		°C	°F
22 lb/in <sup>2</sup>	478	-28	-18	798	-23	-9
30 lb/in <sup>2</sup>	392	-30	-22	654	-25	-15
45 lb/in <sup>2</sup>	294	-33	-27	490	-27	-17

En la fig. No. IV-1 se observa que el contenido de humedad en el gas SF<sub>6</sub> puede ser determinado por varios valores de la temperatura del punto de rocío, el cual puede obtenerse a la presión atmosférica o bajo las presiones de operación del sistema

Esta gráfica ha sido desarrollada por los fabricantes considerando que los valores representados en la tabla anterior no afectan considerablemente los valores de rigidez dieléctrica -

del gas y sin llegar a ocasionar una disminuci3n de valor de tensi3n y ruptura de los aislamientos s3lidos.

De aqu3 se concluye que entre m3s baja sea la temperatura del punto de roc3o en el SF<sub>6</sub>, aumenta el 3ndice de seguridad en el aislamiento garantizando una operaci3n adecuada de la subestaci3n.





En base a lo anterior aqui se citan los cálculos para determinar la humedad en el gas, de los buses encapsulados de 230 KV., los cuales pueden ser realizados en el campo, contando con los instrumentos de prueba, que tienen como finalidad medir la temperatura del punto de rocío, así tenemos los siguientes resultados:

Prueba de humedad relativa (% HR), al sistema de buses encapsulados en SF<sub>6</sub>.

Datos de equipo de prueba: Marca Panameric

Temperatura Ambiente 25 °C

Pruebas finales de los buses, para cada uno de los fases elctados de los buses

FASE	TEMPERATURA GAS °C	PRESION DEL SISTEMA	LECTURA DEL PUNTO DE ROCEO	PRESION DE VAPOR EN MICRONES	CONTENIDO DE HUMEDAD EN P.P.M.V	RESULTADO DE LA PRUEBA
A	25	30 lb/in <sup>2</sup>	- 29 °C	319	150	Buena
B	25	33 lb/in <sup>2</sup>	- 32 °C	233	101	Buena
C	25	31 lb/in <sup>2</sup>	- 30 °C	288	118	Buena

$$P.P.M.V = \frac{\text{PRESION DE SATURACION DE VAPOR EN mmHg}}{(\text{PRES. ABSOLUTA DE LA CD. DE MEX. EN mmHg} + \text{PRES. MEDIDA mmHg})} \times 10^5$$

PRESION ABSOLUTA P. AL NIVEL DE MAR + P. MEDIDA

PRESION ABSOLUTA DE LA CD. DE MEX. = 583 mm Hg

1 BAR = 14.5 lb/pulg<sup>2</sup>

1 Kg/cm<sup>2</sup> = 14.22 lb/pulg<sup>2</sup>

1 Kg/cm<sup>2</sup> = 735.5 mm de Hg

1 lb/pulg<sup>2</sup> = 51.7 mm de Hg

14.7 lb/pulg<sup>2</sup> = 760 mm de Hg

EJEMPLO: Cálculo para una fase "A", de acometida al busco "E21" "A"

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD EN (P. P. M. V)} = \frac{0.319 \times 10^5 \text{ mmHg}}{(583 + 1551) \text{ mmHg}} = 150$$

De la tabla IV-1 tomamos:

PRESION DE SATURACION DE VAPOR = 0.319 mm Hg., PARA UN PUNTO DE ROCEO (-29 °C)

Tomando en cuenta que la presión del sistema es de 30 lb/pulg<sup>2</sup>, entonces tenemos:

$$30 \text{ lb/pulg}^2 \cdot \frac{51.7 \text{ mmHg}}{1 \text{ lb/pulg}^2} = 1551 \text{ mmHg.}$$

HUMEDAD DENTRO DE SISTEMAS AISLADOS EN SF<sub>6</sub>

TABLA IV-1

PRESION DE VAPOR SATURADO DE AGUA EN mmHg  
PARA TEMPERATURAS DE -50°C a 100°C

TEMP.°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50°	0.029	0.028	0.028	0.020	0.017	0.015	0.013	0.012	0.010	0.009
-40°	0.098	0.088	0.078	0.068	0.060	0.054	0.048	0.042	0.037	0.033
-30°	0.289	0.259	0.233	0.209	0.188	0.169	0.151	0.135	0.121	0.108
-20°	0.793	0.712	0.646	0.585	0.530	0.480	0.434	0.392	0.354	0.319
-10°	1.964	1.758	1.644	1.503	1.373	1.252	1.142	1.041	0.947	0.861
0°	4.580	4.220	3.887	3.578	3.291	3.025	2.778	2.550	2.340	2.144
5°	4.58	4.92	5.28	5.68	6.10	6.54	7.01	7.51	8.04	8.61
10°	9.21	9.65	10.12	11.24	11.98	12.79	13.64	14.54	15.49	16.49
20°	17.55	18.66	19.84	21.09	22.40	23.78	25.24	26.77	28.38	30.08
30°	31.88	33.74	35.70	37.78	39.98	42.23	44.62	47.13	49.78	52.51
40°	55.40	58.42	61.58	64.89	68.35	71.97	75.75	79.70	83.83	88.14
50°	92.6	97.3	102.2	107.3	112.7	118.2	124.0	130.0	136.3	142.8
60°	149.6	156.6	164.0	171.0	178.5	187.5	196.3	205.2	214.4	224.0
70°	233.9	244.2	254.0	264.0	274.4	285.3	301.6	314.4	327.6	341.2
80°	355.4	370.3	385.2	400.8	417.0	433.7	451.0	468.8	487.3	506.3
90°	528.0	546.3	567.2	588.8	611.1	634.1	657.8	682.2	707.4	733.8
100	780.0	787.5	818.9	848.0	875.1	906.0	937.8	970.5	1004	1039

Las pruebas en campo de contenido de humedad, pueden expresarse en unidades, como son:

- Partes por millón en peso (ppmw)
- Partes por millón en volumen (ppmv)
- Punto de rocío al gas (dew Point) en °C ó °F

En ambas unidades existen ligas o equivalencias, por lo cual pueden ser expresados en cualquiera de las unidades anteriores.

Para convertir (ppmw) a (ppmv) se deben multiplicar por:

$$\text{ppmv} = \text{ppmw} \times 8.1075$$

Según especificaciones, el máximo contenido de agua es de 8.9 ppmv ó 71 ppmw ó un punto de rocío de -45 °C.

El contenido de humedad del gas, deberá estar dentro de los siguientes límites en (ppmv).

- En fábrica 15 a 35
- En campo 30 hasta 70

- En equipo funcionando hasta 300

#### IV.2 Prueba de potencial aplicado a buses en SF<sub>6</sub>

Una vez que el sistema encapsulado en SF<sub>6</sub> ha sido terminado y cuenta con la presión de operación, estará en condiciones de soportar la prueba de alta tensión, siempre y cuando la su perficie interior de los buses no este contaminada con polvo u otras partículas que pudiesen adquirir durante el montaje (aéreo). Considerando adecuada la limpieza interior del equipo, las superficies de los aisladores soporte pueden soportar la prueba de alta tensión con C.A. ó C.D.

Sin embargo la prueba con C.D. tiene el inconveniente de que mayor tiempo de prueba, se van alineando las partículas internas (polvos o contaminación) hasta producir la descarga principalmente a través de los aisladores soporte, razón por la cual -- el fabricante prefiere y recomienda las pruebas en C.A. especificando los siguientes valores:

Voltaje nominal R.M.S. = 230 KV.

Voltaje máximo de diseño R.M.S. = 242 KV.

Nivel máximo de impulso = 900 kv

Potencial aplicado prueba  
(duración 1 min. 60 Hz) = 320 KV

La prueba de potencial aplicada por el fabricante es, - por pasos, incrementando los valores de voltaje con respecto al tiempo de acuerdo con los siguientes valores.

Paso No.	tiempo	voltaje
1	1/2 horas - - - - -	50 KV
2	1/2 hora - - - - -	75 KV
3	1/2 hora - - - - -	115 KV
4	1 hora - - - - -	140 KV
5	5 min - - - - -	290 KV
6	1 min - - - - -	320 KV

El incremento de voltaje paso por paso debe ser de 40 KV por minuto, además se recomienda no exceder los valores de voltaje y tiempo para cada paso, según lo marca el fabricante.

Sin embargo, debido a que no era un equipo nuevo sino uno reacondicionado y según las normas, se debería reducir la tensión a valores ya que ni pasan al valor nominal, la prueba de po-

tencial aplicado quedo a cargo del Departamento de Laboratorio, y coordinada por el Departamento de Construcción de la Cía de Luz.-

Para la prueba se utilizó un equipo con las siguientes características:

Marca: Balteau.

Tipo: CB - 330 (Cascada).

Relación de transformación: 1 elemento 220 x 440/  
330 000 V.

2 elemento 220 x 440/  
660 000 V.

Frecuencia: 60 Hz

Potencia: 16.5 KVA en permanencia

33 KVA 1 hora servicio

1 hora reposo

66 KVA 10 minutos servicio

132 KVA 30 minutos reposo

2 minutos servicio

30 minutos reposo

Este equipo puede sobrecargarse hasta una capacidad de 156KVA, con un minuto de servicio y una hora de reposo, lo que -- permite disponer de corrientes de prueba del orden de 0.25 amperes por módulo ó 0.50 amperes con un arreglo de dos módulos en paralelo, este último arreglo es el que se emplea durante la prueba y se muestra en la fig. No. IV-1

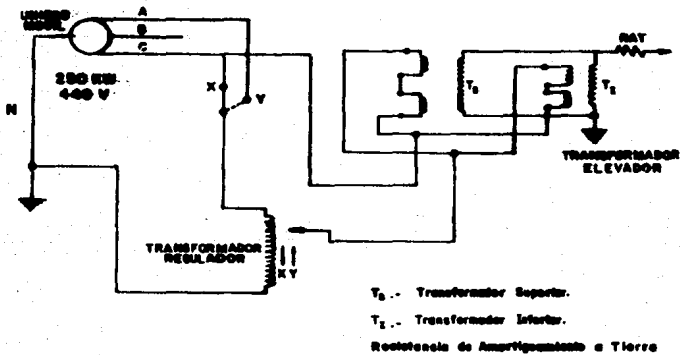


FIG. No. IV-1 . ARREGLO PARA LA PRUEBA DE ALTA TENSION EN BUSES MODIFICADOS DE LA S.E. SAN ANGEL NUEVA.



Esto permite probar equipos con capacitancias de hasta 4 167 pf, a 330 KV.

La capacitancia de los buses se estima a partir de la siguiente ecuación.

$$C = \frac{55.6 \epsilon}{2.31 \log \frac{r_e}{r_i}} \quad (\text{pf/m})$$

$\epsilon$  = constante de rigidez dieléctrica del aire es 1

$r_e$  = Diámetro interior del tubo de cubierta de bus

$r_i$  = Diámetro exterior del conductor central.

$L$  = Longitud de la barra

De los datos de la fig. No. II-5

$r_e$  = 179 mm.

$r_i$  = 71 mm.

$L$  = 17594 mm (sin contar los transformadores de potencia).

$$\therefore C = \frac{55.6 \times 1}{2.31 \log \frac{179}{71}} = \frac{55.6}{0.92} = 59.93 \text{ pf/m.}$$

Por lo que la capacitancia total de la barra será:

$$C_t = C \times L = 59.93 \times L = 59.93 \text{ pf/m.} \times 17.59 \text{ m} = 1054.16 \text{ pf}$$

La preparación especial para la prueba de potencial -- aplicado, en una de las fases consta de la instalación de boquilla de prueba (ver fig. No. IV-2) la cual deberá encontrarse llena de hexafluoruro de azufre a su presión normal y aislada eléctricamente de las demás partes por sus elementos de desconexión -- propios, salvo en el caso de los bancos y los transformadores de potencial, que deberán estar desconectados físicamente.

Las cuchillos de puesta a tierra incluidas en la fase de la parte bajo prueba deberán permanecer abiertas.

Las fases y partes que no esten bajo pruebas deberán -- estar conectados a tierra a través de sus cuchillas propias de -- puesta a tierra.

Es muy importante que todos los secundarios de los -- transformadores de corriente, estén corto circuitados y puestos a tierra para evitar tensiones elevadas en estos, evitando sean dañados.

En la tabla IV-1 se dan las tensiones y tiempos, propuestos por el Departamento de Laboratorio de la Cfa. de Luz y -- Fuerza del Centro, S. A. Esto es debido a las condiciones en que se encuentra el equipo encapsulado, ésta prueba es coordinada por el Departamento de Construcción, así como la propia modificación.

Resultando en determinadas pruebas, algunas fallas consistentes en arcos de fase a tierra a través del SF<sub>6</sub>, debidas a detalles no previstos durante el armado de los componentes, los cuales se fueron corrigiendo hasta pasar la prueba satisfactoriamente.

FIG.No. IV-2 DIAGRAMA DE LA S.E. SAN ANGEL NUEVA PARA LA PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO EN BUSES DE 230 KV.

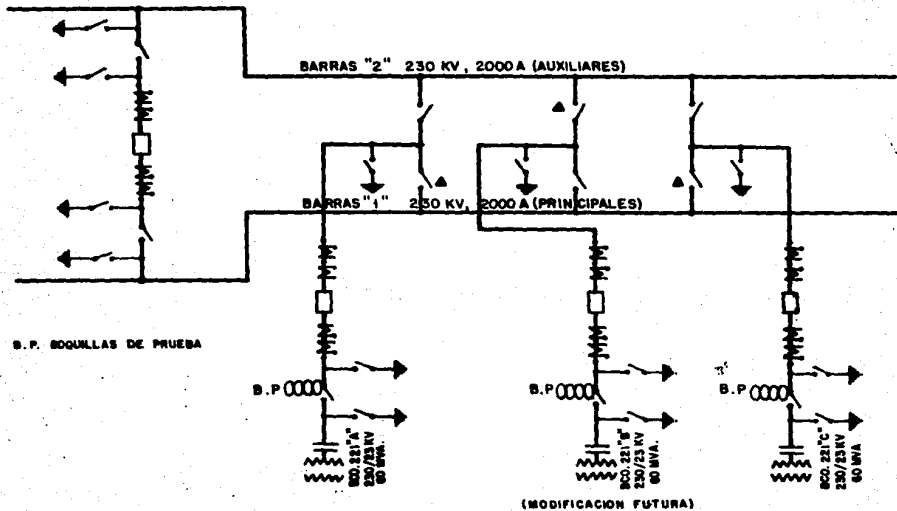


TABLA IV-I PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO EN EL BUS DE LA FASE "B", DEL BANCO T-221 "A"

VOLTAJE DE A.T. (KILO VOLT)	VOLTAJE DE B.T. (KILO VOLT)	CORRIENTE DE B.T. (AMPERES)	CORRIENTE DE A.T. (AMPERES)	TIEMPO (MINR.)	OBSERVA- CIONES.
50	120	2	0.05	30	PRESION 35 PSIG(lb./in <sup>2</sup> ). TEMPERATURA 20°C.
75	180	5	0.07	25	
115	280	13	0.11	25	
140	340	19	0.14	15	
190	465	30	0.19	15	
250	605	44	0.24	5	
280	680	51	0.24	1	

#### IV.3 Puesta en servicio.

Una vez que las pruebas descritas anteriormente han sido satisfactorias se procede a energizar el bus en SF<sub>6</sub>.

Para esto es recomendable, hacerlo a través del devanado de baja tensión del banco T-221, el cual por su relación de transformación llevará el voltaje en el devanado de alta tensión a 230 KV.

Una vez que se tienen energizadas los buses, estos permanecen con potencial 1 hora, para verificar que no existe ninguna falla en ellos. Es importante que durante el transcurso de este período se tenga en observación el bus para detectar cualquier anomalía, si se encuentra en buenas condiciones el siguiente paso, es cerrar el interruptor de 230 KV propio del Banco para conectar los buses al sistema de 230 KV y una vez que se tiene conectado el transformador a 230 KV, se procede a la toma de carga del Banco.

La toma de carga se realiza proporcionando carga al transformador a través de los alimentadores de 23 KV, la cual depende de las condiciones del sistema y será periódica hasta que -

el transformador y los buses alcancen sus valores de operación, - dando como resultado el correcto funcionamiento y la terminación de la modificación de buses aislados en SF<sub>6</sub>, 230 KV.

## CAPITULO V

### ESTUDIO TECNICO ECONOMICO

El estudio técnico económico en este tipo de subestaciones y en especial para el caso de la S.E. San Angel Nueva tema de esta tesis se dividen en dos aspectos:

- a) Un estudio técnico
- b) Un estudio económico

Ambos deberán ser analizados tomando como punto de partida la comparación entre una subestación blindada en la zona de 230 KV, en SF<sub>6</sub> y una S.E. convencional, bajo las consideraciones de -- que estas tienen el mismo diagrama unifilar y la misma cantidad de equipo.

#### V.1 ESTUDIO TECNICO

Se puede plantear que, el estudio técnico, desde el punto de vista proyectado, no siempre se realiza por aspectos económicos -- sino por las limitaciones que se tienen. Una de estas y para este caso es el terreno disponible para la construcción de la subestación.



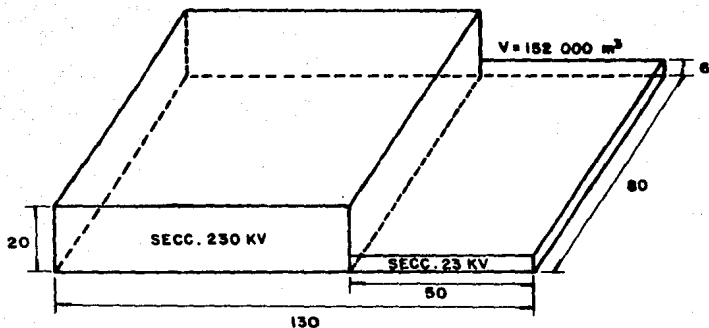
Además deberá de analizarse las ventajas de usar uno u otro tipo de subestaciones, en función de la seguridad del personal, de operación y mantenimiento, así como para su montaje o en todo caso una modificación.

## V.2 ESTUDIO ECONOMICO

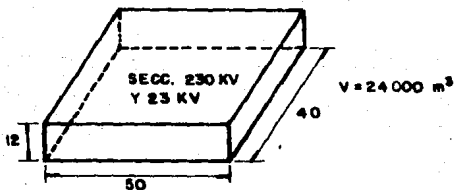
El estudio económico se basa en analizar la oferta más conveniente de cualquiera de los dos tipos de subestaciones, convencionales o en SF6, este análisis consiste en recopilar todos los conceptos que influyen en el costo de un cierto equipo, desde su inicial, fletes, pérdidas de energía durante su funcionamiento, costos de instalación hasta los de mantenimiento, mediante un cuadro comparativo.

Cabe hacer notar que para efectos de este trabajo de tesis, se citan los costos de equipo y labor de los dos tipos de subestaciones por diferentes conceptos en base al valor que estos tenían en el año de 1976, fecha de adquisición del equipo, y siendo la subestación San Angel Nueva una de las primeras en su instalación., la depreciación de la moneda ha fluctuado en diversas ocasiones, razón por la cual para efectos de ilustrar este trabajo se tomaron los datos originales y no los últimos que han estado some-

tidos a diferentes ajustes. Así tenemos la fig. No. V-1 donde se comparan las dimensiones de una subestación de 230/23 KV, -- con tres transformadores trifásicos de 60 MVA, realizada, utilizando una instalación abierta convencional con las dimensiones resultantes utilizando una instalación blindada y aislada con SF<sub>6</sub> para la sección de 230 KV



S. E. Convencional 230/23 KV, 3 bancos 60 MVA., Doble barra en 230 KV.  
Alimentadores en anillo de 23 KV. (La sección de 23 blindada).  
Volumen aproximado incluyendo salón de tableros.



S.E. aislada en hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), con las mismas características eléctricas de la convencional.

Aproximadamente 6.3 veces menor en volumen de  $\text{SF}_6$ .

FIG. No. V - 1 Comparación de un S. E. Convencional y una S. E. aislada en  $\text{SF}_6$ , en la zona de 230 KV.

En la tabla V-1 se da el costo de una subestación de 230 KV convencional, y la tabla V-2, presentan los costos de una subestación de 230 KV blindada y aislada con gas SF<sub>6</sub>

Siendo la tabla V-3 la presentación de un cuadro comparativo de los costos de una subestación convencional y una en hexafluoruro de azufre.

Por último se tiene el costo por modificación de buses encapsulados y aislados en SF<sub>6</sub> (ver tabla V-4).

TABLA V-1

COSTO DE UNA SUBESTACION DE 230 KV CONVENCIONAL

	C o s t o	
	Unitario	Total
<b>A.- EQUIPO ELECTRICO:</b>		
6- Interruptor de 230 KV, 2000 A, 15000 MVA Int.	515,000.00	3,090,000.00
14- Juegos de cuchillas desconecta doras de 230 KV, 2000 A.	85,500.00	1,197,000.00
36- TC de relación múltiple	25,000.00	900,000.00
8- Mufas para salida de cable de 230 KV.	286,000.00	2,288,000.00
6- TP's de 230 KV, relación múlti ple.	35,000.00	210,000.00
15- Pararrayos de 230 KV.	15,000.00	225,000.00
Total Equipo Eléctrico		<u>7, 910,000.00</u>
<b>B.- MATERIALES ELECTRICOS MISCELANEOS:</b>		
1- Lote aisladores soporte bus y - cadenas.		90,000.00
1- Lote tubos de aluminio para ba- rras y cable de ACSR.		150,000.00

1- Lote conectores grapas y herraje.	80,000.00:
1- Lote red de tierras	90,000.00
1- Lote alumbrado	60,000.00
1- Lote cable de control y fuerza, etc.	30,000.00
	<hr/>
Total Material Eléctrico Misceláneo	500,000.00:

C.- ESTRUCTURAS Y CIMENTACIONES:

1- Lote estructuras, cimentaciones y nivelación de terrenos.	1,000,000.00
--	--------------

D.- LABOR DE INGENIERIA CIVIL:

1- Lote labor de Ing. Civil incluye transportes y sin beneficios sociales.	1,200,000.00
--	--------------

E.- LABOR ELECTROMECANICA:

1- Lote labor de Ing. Electromecánica con transportes y sin incluir beneficios sociales.	1,300,000.00
--	--------------

F.- TERRENO:

Se considera un área de 40 m X 130 m = 5200 m<sup>2</sup> y se toma el costo promedio de la S.E. San Angel Nueva, 3500 \$/m<sup>2</sup> esto implica \$ 18,200,000.00 en total

TABLA V-2

COSTO DE UNA SUBESTACION DE 230 KV BLINDADA

AISLADA CON SF<sub>6</sub>

C O S T O

Unitario                      Total

A EQUIPO ELECTRICO:

3.- Módulos para salida de transformador que consta de:

- 1 - Interruptor de potencia 230 KV 2000 A, 15000 MVA Int.
- 2 - Juegos cuchillas descontactoras 2000 A.
- 2 - Juegos cuchillas de puesta a tierra.
- 2 - Juegos de barras.
- 6 - Transformadores de corriente de relación múltiple.
- Cajas de mando, conexiones, - etc.

3,000,000.00      9,000,000.00

2.- Módulos para llegada de cables - de 230 KV que consta de:

- 1- Interruptor de potencia de 230

KV. 2000 A, 15000 MVA Int.

3- Juegos de cuchillas desconecta  
doras 2000 A.

3- Juegos de cuchillas de puesta-  
a tierra.

2- Juegos de barras de 2000 A.

6- Transformadores de corriente de  
relación múltiple.

2- Mufas terminales.

Cajas de mando, conexiones, etc. 3,200,000.00 6,400,000.00

1,- Módulo de amarre que consta de: --

1- Interruptor de potencia de 230  
KV. 2000 A, 15000 MVA Int.

2- Juegos de cuchillas desconecta  
doras 2000 A.

2- Juegos de cuchillas de puesta-  
a tierra.

2- Juegos de barras de 2000 A.

6- Transformadores de corriente de  
relación múltiple.

Cajas de mando, conexiones, etc. 3,000,000.00 3,000,000.00



6- Transformadores de potencia de 230 KV relación múltiple.	70,000.00	<u>420,000.00</u>
Total del equipo eléctrico:		18,820,000.00

**B.- LLENADO DE GAS:**

Gas y llenado para:

3- Módulos transformador	\$ 35,000.00	105,000.00
2- Módulos cable	40,000.00	80,000.00
1- Módulo amarre	30,000.00	<u>30,000.00</u>

Total llenado de gas: \$ 215,000.00

**C.- MATERIAL ELECTRICO MISCELANEO:**

Lote de red de tierra	30,000.00
Lote de alumbrado	40,000.00
Lote de cable de control y fuerza	<u>10,000.00</u>

Total de material eléctrico  
misceláneo 80,000.00

**C.- ESTRUCTURAS Y CIMENTACIONES:**

1- Lote:

Estructuras, cimentaciones y ni  
velación terrenos. 600,000.00

**E.- LABOR INGENIERIA CIVIL:**

**1- Lote:**

Labor de Ingenierfa Civil y -  
transportes sin incluir bene-  
ficios sociales.

700,000.00

**F.- LABOR ELECTROMECHANICA:**

Labor electromecánica y transpor-  
tes sin incluir beneficios socia-  
les.

3 - Módulos de cables	130,000.00:	390,000.00
2 - Modulos de cables	130,000.00	260,000.00
1 - Módulo de amarre	130,000.00	130,000.00
6 - TP.s.	10,000.00	60,000.00
1- Lote tierras, alumbrado y mis- celáneos.	20,000.00	20,000.00

Total labor Electromecánica

860,000.00

**G.- TERRENO:**

Se considera un área de 50 m x 27 m  
= 1350 m2 y se toma el costo por m2  
de terreno en la zona donde se en-

San Angel Nueva

C o s t o

Unitario                      total

3500 \$/m2 = 4,725,000.00

TABLA V-3

COMPARACION DE COSTO DE UNA SUBESTACION EN SF<sub>6</sub> Y SUBESTACION INTEMPERIE CONVENCIONAL:

Bases: Dos entradas para cable de 230 KV.

Tres salidas para transformadores de 230/23 KV.

Bus doble con interruptor de amarre en 230 KV.

Se compara únicamente la partida de la S.E. susceptible de ser encapsulada.

Partidas	S.E.	SF <sub>6</sub>	Convencional
Equipo Eléctrico		18,820,000.00	7,910,000.00
Llenado de gas SF <sub>6</sub>		215,000.00	- - - - -
Materiales Electromecánicos Misceláneos.		80,000.00	500,000.00
Estructuras y Cimentaciones.		600,000.00	1,000,000.00
Labor Ingeniería Civil		700,000.00	1,200,000.00
Labor Electromecánica		860,000.00	1,300,000.00
Terreno		4,725,000.00	18,200,000.00
Total		26,000,000.00	30,110,000.00

**CONCLUSIONES:** Como se puede observar de la tabla anterior existe una diferencia de \$ 4,110,000.00 en favor de una subestación blindada en zonas urbanas de terrenos caros en comparación de una subestación convencional intemperie de igual capacidad y disposición física.

TABLA V - 4 COSTOS POR MODIFICACION DE BUSES

PRESUPUESTO LABOR DIRECTA CON BENEFICIO SOCIAL

SUBESTACION: SAN ANGEL NUEVA OBRA: MODIFICACION DE BUSES 230 KV.

SALARIO DIARIO PROMEDIO 18,305 X 1.4 = "A" 25,627

"A" POR DIAS LABORADOS POR CANTIDAD DE TRABAJADORES = "B"

25,627 X 160 X 17 = 69,705,440

"B" POR % SUPERVISION LOCAL (SOBTE. Y MONTADOR) = "C"

69,705,440 POR 0.152 = 10,595,227.00

"B" POR % SUPERVISION TECNICA (AYTE. TEC. ING's.) = "D"

69,705,440 POR 0.202 = 14,080,499.00

"C" + "D" + "B" = "E"

10,595,227 + 14,080,499 + 69,705,440 = 94,381,166.00

"E" POR % ADMINISTRACION OBRAS ELECTRICAS = "E'"

94,381,166 POR 1.173 = 110,709,108.00

E' POR % ADMINISTRACION SUBGERENCIA = "F"

110,709,108 POR 1.122 = 124,215,619.00

"F" POR % SERVICIOS DE APOYO = "G"

124,215,619 POR 1.165 = 139,369,924.00

"G" POR OTROS GASTOS = G'

139,369,924 POR 1.052 = 146,617,160.00

G' POR % ADMINISTRACION GERENCIA = "H"

146,617,160 POR 1.151 = 168,756,351.00

"H" POR % ADMINISTRACION Ly F. = "I"

168,756,351 POR 1.114 = 187,994,576.00

"I" POR % BENEFICIOS SOCIALES = "J"

187,994,576 POR 2.045 = 384,448,907.00

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Muchas veces, la disponibilidad y el precio del terreno son -- decisivos en el momento de elegir el tipo de instalación y con la utilización del SF<sub>6</sub> como aislamiento, permite reducir mucho las distancias de aislamiento y en esta forma se logra reducir considerablemente las dimensiones de la subestación.
- 2.- Debido a que todas las partes con tensión, están contenidas en envolventes metálicas y conectadas a tierra se elimina la probabilidad de un contacto accidental con una parte con tensión-- aumentando de esta forma la seguridad del personal y la continuidad de servicio.
- 3.- Por el diseño del equipo en SF<sub>6</sub>, éste puede ser instalado en - zonas de alto índice de contaminación, tales como polvo, cemento, agentes corrosivos, etc. Así como donde existe ambiente explosivo (refinerías, plantas químicas, etc.) ya que la operación de cuchillas y en sí todo el equipo, se encuentra encapsulado evitando así el riesgo de incendio o explosión durante las operaciones del equipo eléctrico que provoquen arcos o

descargas.

- 4.- Las subestaciones en SF<sub>6</sub> son completamente silenciosas debido a que todas sus partes bajo tensión quedan encerradas en su blindaje evitando así, las radio interferencias y las molestias por ruido a las personas.
- 5.- En este tipo de subestaciones, se permite la posible modificación de diseño, en cuanto a buses encapsulados sin mayor dificultad, como lo indica este trabajo de tesis.
- 6.- Las técnicas empleadas, para la modificación para los buses en SF<sub>6</sub>, requiere de personal clasificado en todos los aspectos para cumplir con los requerimientos de limpieza, cuidados y seguridad que necesita el equipo en su reinstalación aérea.

Con la finalidad de tomar en cuenta algunas precauciones, necesarias para el manejo adecuado del gas SF<sub>6</sub>, tanto en el desmontaje y montaje de buses en la modificación requerida, se hacen las observaciones y recomendaciones siguientes.

- 1.- El gas SF<sub>6</sub> es más pesado que el aire y tiende a permanecer en lugares bajos. Aunque el gas SF<sub>6</sub> que no ha sido expuesto

a un arqueo eléctrico no es tóxico, puede desplazar al oxígeno del aire y causar asfixia. Por tal motivo deben tomarse las precauciones necesarias cuando se está trabajando en el fondo del interruptor o en lugares donde pueda acumularse el gas SF<sub>6</sub>.

- 2.- El gas SF<sub>6</sub> en estado de pureza es inodoro, incoloro, no es tóxico ni inflamable.
- 3.- Los productos de descomposición del gas SF<sub>6</sub> originados por un arqueo eléctrico son tóxicos
- 4.- En presencia de humedad, durante un arqueo eléctrico se forma también el ácido fluorhídrico (HF), el cual tiene un olor característico a huevos podridos. Esto es notorio en los sistemas estáticos cerrados (buses de fase aislada).
- 5.- Todos los interruptores en SF<sub>6</sub> tienen en su interior filtros absorbentes de humedad, ácidos y productos de arqueo.

Cuando se vaya a trabajar con estos filtros y se debe evitar que el personal de mantenimiento esté expuesto directamente a cantidades significativas de productos de arqueo, las cua--



les por algún motivo permanecieron libres, después de evacuado el interruptor.

- 6.- La ausencia de cualquier olor o irritación podría indicar -- condiciones seguras de trabajo.
- 7.- El personal de mantenimiento debe usar guantes y respirado- - res con filtros para polvo y vapores, los cuales deben usarse en el momento de abrir el interruptor o inclusive el sistema- de buses aislados al estarse limpiando o reparando.
- 8.- Se debe evitar el contacto con el polvo blanco de fluoruros - metálicos que se forman generalmente cuando existe falla in- - terna en los buses de fase aislada
- 9.- Antes de introducir al personal a los compartimientos del -- interruptor, se debe ventilar por lo menos 5 minutos.
- 10.- El polvo blanco de fluoruros metálicos encontrados en los in- - terruptores en SF<sub>6</sub> fallados, el filtro absorbedor y los mate- - riales de limpieza se deben colocar en una bolsa de plástico- para desechos.

- 11.- Si por cualquier descuido alguna persona entra en contacto con el polvo blanco de fluoruros metálicos, se recomienda lavarse perfectamente con agua de la llave.

## VI.1 Referencias

- 1.- "Utilización del SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos"  
Departamento de Laboratorio, área de  
investigación aplicada.
- 2.- "Manual de diseño de subestaciones"  
Cía. de Luz y Fuerza del Centro, S. A.
- 3.- "Manual para interruptores de potencia en SF<sub>6</sub>"  
I.T.G. Imperial Corporation.
- 4.- "Manual de subestaciones en SF<sub>6</sub>"  
I.T.E. Guild Imperial Corporation
- 5.- "La utilización del SF<sub>6</sub> en equipo eléctrico"  
Faro de colaboradores  
Ing. Raúl Méndez Albores.  
Ing. Enrique Orozco López  
Departamento de Laboratorio de la Compañía  
de Luz y Fuerza.
- 6.- Instalaciones y líneas eléctricas

**Enseñanza Especializadas**

**Ing. José Luis Ruiz**

**Ing. Andrés Martín.**