

12 2ej

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES

"ARAGON"

ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE BARRAS  
COLECTORAS EN SUBESTACIONES

T E S I S

Que para Obtener el Titulo de:

INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA

P r e s e n t a:

PABLO GUERRERO OROZCO

MEXICO. D.F.

1990

FALLA DE COLECTORAS



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

## INDICE

INTRODUCCION	1
--------------	---

### CAPITULO I

#### TIPOS DE BARRAS

1. Barras	4
1.1. Cables	4
1.2. Tubos	6
1.3. Barras de solera	9
2. Materiales	11
2.1. Cobre	14
2.2. Aluminio	15
3. Características	16
3.1. Capacidad de conducción de corriente relativa	16

### CAPITULO II

#### ACCESORIOS DE LAS BARRAS COLECTORAS

1. Tipos de accesorios	23
2. Materiales	27
3. Características	30

3.1. Diferentes tipos de conectores soldados	32
--	----

### CAPITULO III

#### AISLADORES PARA LAS BARRAS COLECTORAS

1. Tipos de aisladores	39
1.2. Aisladores rígidos	42
1.3. Cadena de aisladores	46
1.4. Aisladores especiales	49
2. Materiales	53
3. Características	53

### CAPITULO V

#### CONSIDERACION DE LAS CARGAS EN EL DISEÑO DE LAS BARRAS

1. Cargas estáticas	57
1.1. Peso del conductor	59
2. Cargas dinámicas	61
2.1. Expansiones térmicas	61
2.2. Esfuerzos mecánicos	63
2.3. Esfuerzos electromagnéticos	64

### CAPITULO V

#### FACTORES SECUNDARIOS EN EL DISEÑO DE LAS BARRAS COLECTORAS

1.	Efecto corona	67
2.	Radio interferencia	73
2.1.	Método clásico de cálculo	74
3.	Efecto superficial	83
4.	Efecto de proximidad	84
5.	Emisividad térmica	85
6.	Vibración	86
7.	Corrosión	88
7.1.	Corrosión atmosférica	88
7.2.	Corrosión galvánica	89

## CAPITULO VI

### METODO DE CALCULO

1.	Clasico	94
1.1.	Cargas verticales en las barras tubulares	94
1.2.	Cargas horizontales en las barras tubulares	99
2.	Mecanización del cálculo por computadora	108

RESULTADOS	114
------------	-----

CONCLUSIONES	125
--------------	-----

APENDICE	128
----------	-----



**ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE BARRAS COLECTORAS EN**

**SUBESTACIONES**

## INTRODUCCION

Este trabajo de tesis sobre los Elementos para el diseño de las barras colectoras, constituye una recopilación y ordenación de la información técnica, para ser utilizada en subestaciones con tensiones de 85 KV, 230 KV y 400 KV.

Los objetivos que se persiguen con la realización de este estudio, son los siguientes:

- 1.- Contribuir a la normalización de los diseños de las barras colectoras, lo que tendrá como resultado el aumento de la productividad en la realización de los proyectos y la reducción del costo en su instalación.
- 2.- Proporcionar material didactico para la información profesional de estudiantes de ingeniería que ingresen a la Escuela Nacional de Estudios profesionales y de técnicos a nivel medio.

Las barras colectoras son un conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos de que consta una subestación.



Los circuitos que se conectan o derivan de las barras, pueden ser generadores, líneas de transmisión, bancos de transformadores, bancos de tierras, etc.

En una subestación se pueden tener uno o varios juegos de barras, que agrupan diferentes circuitos, en uno o varios niveles de voltaje, dependiendo del propio diseño de la subestación.

Las barras colectoras están formadas principalmente, de los siguientes elementos:

- a).- Conductores eléctricos.
- b).- Aisladores: Que sirven de elemento aislante eléctrico y de soporte mecánico del conductor.
- c).- Conectores y Herrajes: Que sirven para unir un tramo de conductor con el siguiente y para sujetar el conductor al aislador.

El diseño propio de las barras colectoras, implica la selección de los aisladores y sus accesorios y a la selección de las distancias entre apollos y entre fases. El diseño se hace en base a las esfuerzos estáticos y dinámicos a que están sometidas las barras, y de acuerdo a las necesidades de conducción de corrientes, disposiciones físicas, etc., -

la selección final de las barras se hace atendiendo aspectos económicos, materiales existentes en el mercado y normas establecidas.

## CAPITULO I

### TIPOS DE BARRAS

#### 1. BARRAS.

El elemento principal de que se componen las barras colectoras, es el conductor eléctrico que se llamará barra. Cada juego de barras consta de tantos conductores como fases o polos se componga el circuito ya sea que se tenga corriente alterna o directa.

Los tipos normalmente usados son los que se mencionan a continuación:

- a).- CABLES.
- b).- TUBOS.
- c).- SOLERAS.

#### 1.1. CABLES.

El cable es un conductor formado por un haz de alambres trenzados en forma helicoidal. Es uno de los tipos de barra más usado en las subestaciones eléctricas. En las subestaciones de pequeña capacidad también se han utilizado conduc

tores de un solc alambre.

A continuación presentamos las principales ventajas en el uso del cable como barra colectora:

- a).- De los tres tipos antes mencionados es el más económica.
- b).- En cuanto a los claros se logra tenerlos mas grandes.

Al utilizar cable se tienen las siguientes desventajas:

- a).- Las pérdidas por efecto corona son de mayor magnitud.
- b).- Lo mismo sucede en las pérdidas por efecto superficial.

En los primeros tiempos, los conductores eran generalmente de cobre, pero los conductores de aluminio debido a su menor costo y al peso ligero de un cable de aluminio, pasó a formar parte como el material mas usado en el diseño de las barras colectoras. El hecho de que un conductor de aluminio tenga un mayor diámetro que un conductor de cobre de la misma resistencia es también una ventaja. Con un mayor diámetro, las líneas de flujo eléctrico originadas sobre el conductor estarán más apartadas en la superficie de éste, -- para una misma tensión. Esto significa un menor gradiente de tensión en la superficie del conductor y menor tendencia a ionizar el aire a su alrededor. Y dependiendo de la capacidad de energía y para reducir las pérdidas por ioniza --

ción, más comunmente conocida como efecto corona, se usan -- conjuntos de 2,3 y 4 cables unidos por separadores especiales.

## 1.2. TUBOS.

Cuando se requiere llevar grandes cantidades de corriente - eléctrica, se utilizan principalmente, las barras colectoras tubulares, especialmente en subestaciones de bajo perfil - - como las instaladas en zonas urbanas.

El uso de tubo en subestaciones compactas resulta más económico que el uso de otro tipo de barra. En subestaciones con tensiones muy altas, reduce el área necesaria para su instalación, además de que requiere estructuras más ligeras.

Los materiales más usados para tubos son el cobre y aluminio.

El cobre es un elemento químico de nomenclatura Cu, número atómico 29, y peso atómico 63.54. Es un metal de color rojizo característico, dúctil, maleable, buen conductor del calor y electricidad. - Este metal se funde a los  $1083^{\circ}\text{C}$  y hierve a los  $2310^{\circ}\text{C}$ . Consta de 2 isotopos, con un peso atómico de 63 y 65 respectivamente.

El cobre es un metal que expuesto al aire humedo, se cubre - de una capa verde de carbonato bórico llamada verdete.

El aluminio es un elemento químico de símbolo Al, y número atómico 13; peso atómico 26.98. Es un metal de color blanco argentino, el cual funde a los 659°C, con una densidad de - 2.78 gr/cm<sup>3</sup>. Es uno de los metales más ligeros después del magnesio, además de ser muy dúctil y maleable, tanto que -- puede ser laminado y forjado entre 100 y 150 °C; al rededor de su punto de fusión se vuelve quebradizo.

Las principales ventajas que tiene al utilizar tubos como - barras colectoras en las subestaciones son:

- a).- Tiene igual resistencia a la deformación en todos los planos.
- b).- Reduce el número de soportes necesarios debido a su -- rigidez.
- c).- Facilidad en la unión entre dos tramos de tubo.
- d).- Reduce las pérdidas por efecto corona.
- e).- Reduce las pérdidas por efecto superficial .
- f).- Tiene capacidades de conducción de corriente eléctrica

relativamente grandes por unidad de área.

Las desventajas del uso de tubo como barras colectoras en subestaciones son las siguientes:

- a).- Alto costo del tubo en comparación con los otros tipos de barras colectoras.
- b).- Requiere un gran número de juntas de unión debido a las longitudes relativamente cortas con que se fabrican los tramos de tubo.

La selección del tamaño y peso de los tubos está hecha en base a la capacidad de conducción de corriente y de su deflexión. Por lo general el factor que determina un diseño de barras colectoras es la deflexión. En la gran mayoría de los casos se utilizan diámetros mayores que los necesarios para la conducción de la corriente, obteniendo de esta forma un aumento en la longitud de los claros y por lo tanto una reducción en el número de soportes, disminuyendo además las pérdidas por efecto corona.

#### Ventajas del tubo de aluminio sobre el de cobre.

- a).- Mayor capacidad de corriente en igualdad de peso.

b).- A igual conductividad el costo del tubo de aluminio es menor que el de cobre.

c).- Requiere estructuras más ligeras.

Desventajas del tubo de aluminio sobre el de cobre.

a).- Mayor volúmen del tubo en igualdad de conductividad.

b).- Los conectores son más caros.

1.3. BARRAS DE SOLERA.

La forma de barra más comunmente usada para llevar grandes cantidades de corriente (especialmente en interiores), es la solera de cobre o de aluminio.

Las principales ventajas del uso de soleras son las que a continuación se enlistan:

a).- Es relativamente más económica que el tubo.

b).- Es superior eléctricamente para conducción de corriente directa.



c).- Tiene excelente ventilación debido a la mayor superficie de radiación en comparación a su sección transversal, especialmente en posición vertical.

Las desventajas son las siguientes:

a).- Baja resistencia mecánica al pandeo debido a los esfuerzos de corto circuito.

b).- Mayores pérdidas por efecto superficial y de proximidad cuando se conduce corriente alterna.

c).- Requiere de un número mayor de aisladores soporte.

La posición vertical de las soleras es la forma más eficiente para la conducción de corrientes, tanto alterna como directa debido a su mejor ventilación, ya sea que se usen una sola o en grupos de soleras separadas entre sí cierto espacio para dejar circular el aire y mejorar la ventilación.

Cuando varias se agrupan en forma laminar, la eficiencia de conducción de corriente por unidad de sección transversal es menor que cuando se usa una sola solera.

Al conducir corriente directa en grupos de soleras, y debido al poco espacio que hay entre ellas, su conducción de calor disminuye lo que hace que las soleras del centro se calienten más, bajando la eficiencia de conducción de corriente.

En corriente alterna el efecto es al contrario ya que debido al efecto superficial que origina mayor densidad de corriente en la periferia del conductor, ocasiona que un conductor formado por más de seis soleras la capacidad de conducción de corriente del grupo ya no aumenta en la misma proporción que al aumentar el número de soleras.

## 2. MATERIALES.

Una varilla metálica sostenida en la mano y frotada con una piel no manifiesta estar cargada. Sin embargo, es posible cargar esa varilla si se le provee de un mango de vidrio o ebonita y si el metal no se toca con las manos al frotarlo. La explicación es que los metales, el cuerpo humano y la tierra son conductores de la electricidad y que el vidrio, la ebonita, los plásticos, etc., son aisladores (también llamados dieléctricos).

En los conductores eléctricos, las cargas se pueden mover -- libremente a través del material, mientras que en los aisladores no pueden hacerlo. El material que forma un conductor eléctrico se podría decir que es cualquier substancia que - pueda conducir una corriente eléctrica cuando este conduc - tor está sujeto a una diferencia de potencial entre sus ex - tremos.

Esta propiedad se llama conductividad, y las substancias -- con mayor conductividad son los metales.

Los materiales comunmente usados para conducir corriente -- eléctrica son en orden de importancia: cobre, aluminio, - - aleaciones de cobre, hierro y acero.

La selección de un material conductor determinado es esen - cialmente un problema económico, el cual no solo considera - las propiedades eléctricas del conductor sino también otras como: propiedades mecánicas, facilidad de hacer conexiones, su mantenimiento, la cantidad de soportes necesarios, las - limitaciones de espacio, resistencia a la corrosión del ma - terial y otros.

La tabla #1 muestra las propiedades físicas de los metales normalmente

utilizados para la fabricación de conductores eléctricos.

PROPIEDADES FISICAS	COBRE ELECTROLITICO	ALUMINIO	ACERO
PESO ESPECIFICO $\text{gr/cm}^3$ a $20^\circ\text{C}$ .	8.91	2.71	7.63
PUNTO DE FUSION EN $^\circ\text{C}$	1084	658	1406
COEF. LINEAL DE EXPAN- SION TERMICA. $^\circ\text{C} \times 10^6$	17.6	23.1	10.9
RESISTIVIDAD ELECTRICA A $20^\circ\text{C}$	1.68	2.68	APROX 16
CONDUCTIVIDAD ELECTRI- CA EN % DEL COBRE RE - COCIDO A $20^\circ\text{C}$	101.0	61.0	12.3
RESISTENCIA A LA TEN - SION $\text{Kg/cm}^2$ DURO	3866	1898	9139
RESISTENCIA A LA TEN - SION $\text{Kg/cm}^2$ BLANDO	2249	844	6046
MODULO DE ELASTICIDAD $\text{Kg/cm}^2 \times 10^6$	1.19	0.70	2.1

TABLA No. 1

CONSTANTES FISICAS DE LOS METALES COMUNENTE USADOS COMO CONDUCTORES -  
ELECTRICOS

## 2.1. COBRE.

La mayoría de los conductores eléctricos están hechos de -- cobre.

Sus principales ventajas son las siguientes:

- a).- Es el metal que tiene la conductividad eléctrica más - alta despues de la plata, la cual no se usa debido a - su alto costo en el mercado.
- b).- Tiene gran facilidad para ser estañado, plateado o cad<sup>u</sup>minizado y puede ser soldado, usando equipo especial - de soldadura para cobre.
- c).- Es muy dúctil por lo que fácilmente puede ser conver - tido a cable, tubo o rolado en forma de solera u otra - forma.
- d).- Tiene buena resistencia mecánica; aumentando cuando se usa en combinación con otros metales, formando alea -- ciones.
- e).- No se oxida fácilmente por lo que soporta la corrosión ordinaria.

f).- Tiene buena conductividad térmica.

Para conductores de cobre desnudos, la temperatura máxima de operación se fija por el valor al cual el metal empieza a aumentar su velocidad de oxidación y por lo tanto ésta no deberá llegar a  $80^{\circ}\text{C}$ , la cual comprende la suma de la temperatura del conductor más la temperatura ambiente de  $40^{\circ}\text{C}$ . Debido a lo anterior, el nivel máximo de temperatura especificado por NEMA es de  $30^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura ambiente de  $40^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2. ALUMINIO.

Los conductores de aluminio son muy usados para exteriores, en líneas de transmisión y distribución y para servicios -- pesados en subestaciones.

Las principales ventajas del aluminio son las siguientes:

- a).- Es muy ligero. Comparado con el cobre es el 50% más -- ligero para una misma capacidad de corriente.
- b).- Altamente resistente a la corrosión atmosférica.
- c).- Puede ser soldado utilizando el equipo adecuado.

d).- Se reduce el efecto superficial y el efecto corona, - debido a que para la misma capacidad de corriente, se usan diámetros mayores.

Las principales desventajas son:

a).- Menor conductividad eléctrica que el cobre.

b).- Se forma en su superficie una película de óxido que es altamente resistente al paso de la corriente, por lo que causa problemas en juntas de contacto.

c).- Debido a sus características electronegativas, al ponerse en contacto directo con el cobre causa corrosión galvánica, por lo que siempre se deberán usar juntas - bimetálicas o pastas anticorrosivas.

### 3. CARACTERISTICAS.

#### 3.1. CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE RELATIVA.

La tabla No. 2 que se muestra a continuación, se utiliza -- para conductores con el mismo diámetro y sección de metal - con diferentes valores de conductividad y a una temperatura de 70°C.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD EN %	CAPACIDAD DE CORRIENTE RELATIVA
C O B R E .	100	1.00
ALEACIONES DE COBRE	95	0.98
	90	0.96
	85	0.94
	80	0.91
	70	0.86
ALUMINIO.	61	0.78
ALEACIONES DE ALUMINIO	55	0.74
	50	0.71

TABLA No. 2

\*\*\* CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE \*\*\*

CALIBRE AWG	DIAMETRO mm	A R E A		PESO kg/km.	TIPO RECOCIDO	
		MCM	mm <sup>2</sup>		RESIST. MAX. A LA C.D. 20°C ohms/km	CARGA MAX DE RUPTURA kg
16	1.291	2.583	1.309	11.6	13.176	35.426
14	1.628	4.107	2.082	18.5	8.284	56.337
12	2.053	6.530	3.310	29.4	5.210	89.586
10	2.588	10.380	5.260	46.8	3.277	142.430
8	3.264	16.510	8.367	74.4	2.061	217.637

TABLA No. 3

PROPIEDADES DE LOS ALAMBRES DE COBRE



COBRE RECOCIDO CONDUCTIVIDAD 100%

CALIBRE		NUMERO DE ALAMBRES.	DIAMETRO DEL ALAMBRE mm.	DIAMETRO DEL CABLE mm.	AREA mm <sup>2</sup>	PESO kg/km	TIPO RECOCIDO		CAP. DE COND. DE CORRIENTE CABLE DESNUDO. (AMPS.)	
MCM	AWG						RESIST. MAX. A LA C.D. 20°C ohms/km.	CARGA MAX DE RUPTURA kg	INTERIOR 30°C	EXTERIOR 30°C
26.25	6	7	1.554	4.115	13.30	118.3	1.296	360	-	-
41.74	4	7	1.961	5.189	21.15	188.0	0.815	572	100	135
66.37	2	7	2.474	6.543	33.62	299.0	0.512	910	135	185
105.50	1/0	7	1.892	8.252	53.48	475.4	0.322	1391	184	248
133.10	2/0	7	2.126	9.266	67.43	599.5	0.255	1754	216	286
167.80	3/0	7	2.388	10.404	85.01	755.9	0.203	2212	250	335
211.60	4/0	7	2.680	11.684	107.20	953.2	0.161	2789	296	388
250	-	12	3.665	15.24	126.64	1148.6	0.138	3295	331	434
500	-	19	4.120	20.59	253.35	2297.5	0.069	6591	525	670

TABLA No. 4

PROPIEDADES FISICAS DE LOS CABLES DE COBRE

CALIBRE		No. DE ALAMBRES		DIAMETRO mm		PESO TOTAL DEL CABLE kg/km	CARGA DE RUPTUA kg	RESISTENCIA 25°C ohm/km	CAPAC. DE COND. DE CORRIENTE amp.
mm <sup>2</sup>	MCM	ALUMINIO	ACERO	TOTAL DE CABLE	NUCLEO ACERO				
171.36	336.0	26	7	18.31	6.75	688.0	6373	0.172	420
405.45	795.0	26	7	28.14	10.36	1633.8	14152	0.072	725
567.63	1113.0	54	19	32.84	10.94	2126.3	18234	0.052	875

TABLA No. 5

PROPIEDADES FISICAS DE LOS CABLES ACSR MAS USADOS

## 98 % CONDUCTIVIDAD

DIAMETRO NOMINAL.		DIAMETRO DEL TUBO cm		GRUESO DE LA PARED cm	AREA cm <sup>2</sup>	P E S O kg/m	MOMENTO DE INERSIA I = (cm) <sup>4</sup>	MODULO DE SECCION S = (cm) <sup>3</sup>	LIMITE ELASTICO kg	RESISTEN - CIA A LA - C.D. 20° C MICROHMS POR METRO	CAPACIDAD DE COND. DE -- CORR. 30° C	
PULG.	cm	EXTER.	INTERIOR								INTER	INTEM
3/4	2.0	2.667	2.087	0.289	2.162	1.93	1.5500	1.1628	2433	81.31	512	680
1	2.5	3.340	2.697	0.321	3.046	2.73	3.5104	2.1024	3427	57.72	675	860
1½	3.2	4.216	3.474	0.370	4.478	3.98	8.3578	3.9656	5039	39.26	875	1130
1¾	4.0	4.826	4.064	0.381	5.319	4.74	13.2361	5.4847	5983	33.06	1025	1285
2	5.0	6.032	5.237	0.398	7.036	6.26	28.0705	9.3061	7915	24.99	1300	1585
2½	6.0	7.302	6.350	0.476	10.210	9.10	59.7706	16.3722	11489	17.22	1700	2010

TABLA No. 6

PROPIEDADES DE LOS TUBOS DE COBRE ESTANDAR

DIAMETRO NOMINAL		DIAMETRO DEL TUBO cm.		GRUESO DE LA PARED cm	AREA cm <sup>2</sup>	PESO kg/m.	MOMENTO DE INERCIA I = (cm) <sup>4</sup>	MODULO DE SECCION S = (cm) <sup>3</sup>	LIMITE ELASTICO kg	RESISTENCIA A LA C.D. 20°C Microohms por metro	CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE 30°C	
Pulg	cm	Ext.	Int.								Interior	Intemp.
3/4	2.0	2.667	2.093	0.287	2.147	0.580	1.5400	1.1552	2871	140.74	435	530
1	2.5	3.340	2.664	0.337	3.186	0.863	3.6336	2.1761	4259	94.89	590	700
1 ¼	3.2	4.216	3.505	0.355	4.308	0.680	8.1039	3.8443	5756	70.16	740	890
1 ½	4.0	4.826	4.089	0.373	5.160	1.397	12.8989	5.3454	6894	58.58	840	1010
2	5.0	6.032	5.250	0.391	6.870	1.877	27.2922	9.1865	9253	43.59	1100	1320
2 ½	6.0	7.302	6.271	0.515	10.990	2.979	63.6831	17.450	14696	27.52	1490	1790
3	8.0	8.890	7.792	0.548	14.370	3.894	125.6057	28.257	19187	21.02	1765	2120
4	10.0	11.430	10.226	0.602	20.472	5.548	301.038	52.674	27352	14.76	2300	2720
5	12.5	14.130	12.819	0.655	27.735	7.515	631.00	89.325	37059	10.89	3100	3660

TABLA No. 7

PROPIEDADES DE LOS TUBOS DE ALUMINIO ESTANDAR 61 % CONDUCTIVIDAD

DIMENSIONES				A R E A		P E S O kg/m	EJE HORIZONTAL		EJE VERTICAL		LIMITE ELASTICO kg	RESISTEN- CIA A LA C.D. 20°C Microohms por metro
ESPESOR		ANCHO		MCM	cm <sup>2</sup>		MOMENTO DE INERCI A.	MODULO DE SECCION	MOMENTO DE INERCI A.	MODULO DE SECCION		
Pul	cm	Pulg.	cm				$I = \text{cm}^4$	$S = \text{cm}^3$	$I = \text{cm}^4$	$S = \text{cm}^3$		
<b>SOLERA DE COBRE</b>												
		2	5.0	630.6	3.225	2.88	6.926	2.7300	0.1083	0.3413	5216	54.18
		2 ½	6.0	795.8	4.031	3.60	13.527	4.2671	0.1354	0.4267	7087	43.32
¼	0.6	3	8.0	955.0	4.837	4.33	23.375	6.1451	0.1625	0.5120	8505	36.11
		4	10.0	1273	6.450	5.77	55.400	10.923	0.2167	0.6826	11340	27.06
		5	12.5	1592	8.062	7.21	108.219	17.075	0.2709	0.8534	14175	21.64
<b>SOLERA DE ALUMINIO</b>												
		3	8.0	955	4.837	4.837	23.433	6.1451	0.1664	0.5079	-----	58.41
¼	0.6	4	10.0	1273	6.450	1.74	55.483	10.930	0.2081	0.6882	-----	43.82
		5	12.5	1592	8.062	2.18	108.386	17.075	0.2913	0.8521	-----	35.06

TABLA No. 8

PROPIEDADES DE LAS SOLERAS

## CAPITULO II

### ACCESORIOS DE LAS BARRAS COLECTORAS

#### 1. TIPOS DE ACCESORIOS.

Se describen a los accesorios utilizados para el diseño de las barras colectoras, como todos aquellos elementos que nos sirven para unir elementos conductores, fijarlos a los aisladores y absorber los esfuerzos mecánicos de los diferentes tipos que existen en instalaciones de barras colectoras.

A continuación se mencionan los tipos de accesorios más utilizados, en la instalación de barras colectoras:

a).- Conectores: Que nos sirven para conectar los diferentes tramos de tubos que forman una barra, entre el juego de barras y las derivaciones a los equipos o aparatos. Los conectores pueden ser de diversos tipos (rectos, "T", codos, etc.) y además pueden ser soldados, atornillados o de compresión.

Cuando se utilizan las conexiones soldadas se tienen las - - ventajas que se numeran a continuación:

1.- Comparandolas con las conexiones atornilladas son más -- económicas, a medida que crecen las subestaciones en tamaño.

2.- Las soldaduras tienen mayor confiabilidad.

3.- Se ahorra bastante tiempo en cuanto a trámite de compra.

b).- Las Juntas de Expansión: Son las formadas por conductores flexibles y que sirven para absorber las expansiones térmicas de las barras. Es aconsejable instalarlas a la llegada de las barras colectoras al equipo pesado, para evitar así los esfuerzos en las boquillas de entrada al equipo mencionado. El tipo de junta a escoger dependerá del equipo y de la disposición de la instalación adoptada.

c).- Los Herrajes: Estos nos son útiles para la fijación o soporte de las barras colectoras, sobre los aisladores. Los herrajes usados en las barras colectoras de tubo o solera son de los siguientes tipos:

1.- Soportes de anclaje (clemas fijas).

2.- Soportes deslizantes sobre los que resbala el conductor, al dilatarse.

Por regla general, se recomiendan conectores de cobre para -- conductores de cobre y conectores de aluminio para conductores de aluminio. Cuando se recomienda el uso de conectores - de aluminio para combinaciones de aluminio y cobre, el cobre deberá siempre colocarse, paralelo o abajo del aluminio, para evitar la contaminación del aluminio por las sales de cobre que se desprenden con la lluvia.

El funcionamiento de un conector depende tanto de la alea -- ción adecuada como de la integridad del diseño. La aleación\_ para algún componente en especial es seleccionada con base - en la conductividad, fuerza, resistencia a la corrosión, facilidad de maquinado, etc..

Los requisitos que debe reunir un buen conector eléctrico -- son en general los siguientes:

1.- Tener una buena resistencia mecánica para soportar los - esfuerzos causados por cortocircuito, viento y expansión térmica, sin producir deformación visible.



- 2.- Alta conductividad eléctrica, que disminuya las pérdidas de potencia en la conexión.
- 3.- Baja elevación de temperatura, aún con sobrecarga, es -- decir, la elevación de la temperatura de los conductores que conecta.
- 4.- La trayectoria de la corriente deberá ser la más corta y directa posible.
- 5.- La resistencia eléctrica del conector, debe ser igual o menor que una longitud equivalente de los conductores - que conecta.
- 6.- Baja resistencia de contacto, lo que se logra aumentando el número de puntos de contacto, cosa que se obtiene al aumentar la presión de contacto sobre materiales relativamente maleables.

Para los conectores atornillables, además de los requisitos anteriores, se necesita que:

- a).- Los pernos estén lo más próximo posible a los conductores.

b).- Los pernos estén en pares opuestos, para obtener un --  
apriete máximo.

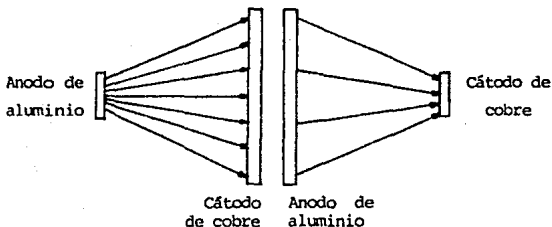
c).- El diámetro y número de pernos necesarios, sean diseñados para producir el apriete deseado.

## 2. MATERIALES.

Los conectores mecánicos de aluminio se fabrican de aleación de aluminio y están diseñados para aceptar conductores de -- aluminio o cobre . El diseño "Masa-Anodo", reduce el efecto de la corrosión galvánica en conectores de aluminio (ánodo- +), cuando se utiliza con conductores de cobre (cátodo).

Muchos iones de aluminio son removidos por el --- flujo de la corriente -- galvánica.

Pocos iones de aluminio son removidos por el -- flujo de la corriente - galvánica.



El deterioro de la unión por el relajamiento de aluminio es eliminado por el diseño masivo. Amplias áreas de contacto -- distribuyen las fuerzas de apriete equitativamente sobre el conductor, eliminando puntos de esfuerzo que son la causa -- del relajamiento. Estas áreas de contacto radían el calor -- permitiendo que el conector opere más frío que el conductor de cobre, compensando el mayor coeficiente de expansión térmica del aluminio. Conector y conductor se expanden y con---traen juntos durante los ciclos de carga, eliminando esfuerzos en el cuerpo del aluminio que causan el relajamiento de la unión.

Las principales características de un buen material para conectores, deben ser las siguientes:

- a).- Alta conductividad.
- b).- Superficie maleable.
- c).- Ductilidad, que permita un contacto envolvente al rededor del conductor.

Los materiales más utilizados son el cobre y el aluminio - - utilizándolos en diferentes aleaciones cuyas características principales son las siguientes:

1.- Aleaciones con alto contenido de cobre. Se usan para muy altas corrientes y pueden llevar hasta el doble de corriente de la normal del conductor que une.

2.- Aleación de alta resistencia mecánica, pero de baja conductividad eléctrica. Se usan para sujetar el conductor al aislador.

Ambas aleaciones tienen coeficiente de expansión térmica casi iguales al del cobre puro, lo cual permite que los conectores no se aflojen al variar los ciclos de temperatura, de acuerdo con la variación de carga en las barras colectoras.

En los pernos de unión se utiliza el bronce al silicio, que tiene igual coeficiente de expansión térmica que el cobre, teniendo como características principales, alta resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión.

Los cambios de temperatura en las conexiones, debido a la temperatura ambiente o a la corriente eléctrica, ocasiona movimientos relativos muy pequeños del metal de las zonas de alta presión a las zonas de baja presión, haciendo que el conductor se afloje. Este fenómeno se llama sedencia del material, y aumenta cuando los metales son diferentes. Al

aflojarse el conector, reduce la presión de contacto, que -- hace aumentar la temperatura y con el tiempo se producen es- fuerzos tales que hacen fallar al conector. Esto es mayor -- cuando el cable es de aluminio.

### 3. CARACTERISTICAS.

A continuación mencionaremos los diferentes tipos de conec- tores atornillados de tubo a tubo, de tubo a cable, y de cable a cable.

T I P O	U S O
CONECTOR "T"	Derivación en "T" de un tubo a otro tubo o de un tubo a cable o de cable a cable.
CONECTOR "T"	Derivación en "T" de un tubo a dos tubos - formando un ángulo, de un tubo a dos ca -- bles, de un cable a otros dos, de tubo a - solera.
COPLES	Unión recta de tubos, extremo con extremo_ de tubo con cable, o de dos cables de tubo con solera o de dos soleras.
REDUCCION	Unión recta de tubos, extremo con extremo_

que absorbe cualquier movimiento longitudi -  
dinal de los tubos o de las soleras.

**CONECTOR "T" EN EXPANSION.** Derivación en "T" de un tubo a otro tubo -  
que absorbe cualquier desplazamiento de --  
los tubos en el sentido longitudinal y an-  
gular.

**CONECTORES A BIRLO DE EXPANSION.** Unión recta o de ángulo de tubo o de sole-  
ra a birlo roscado, que absorbe cualquier\_  
movimiento del tubo o del birlo.

**TERMINAL DE EXPANSION.** Unión de tubo a placa que absorbe cual - -  
quier movimiento longitudinal del tubo.

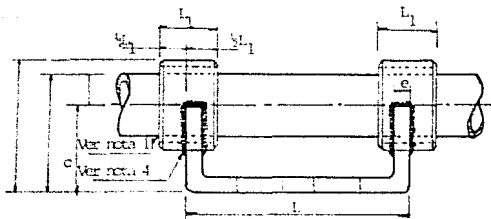
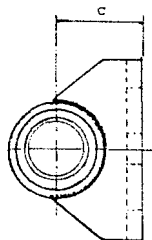
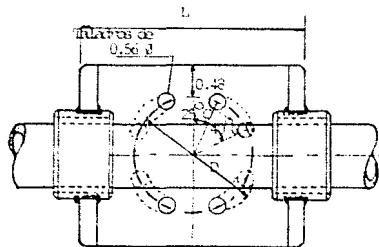
**CLEMAS.** Soportan los tubos y van montados sobre --  
los aisladores, pueden ser fijas o desli--  
zantes. También se usan para fijar cables\_  
o soleras, ya sean estas últimas horizon -  
tales o verticales.

**CONECTORES A BIRLO RIGIDO** Unión recta o en ángulo de tubo o solera -  
a birlo roscado.

### 3.1. DIFERENTES TIPOS DE CONECTORES SOLDADOS.

Las figuras 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 y 2-6, que a continuación se presentan, son un conjunto de conectores diseñados, fabricados y que a la fecha se utilizan en las subestaciones existentes, de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Estos conectores se utilizan en las subestaciones de bajo perfil, que utilizan barras tubulares de aluminio.

Dichos conectores se fabrican con elementos de aluminio -- soldado; parte de ellos se elaboran en los talleres y parte directamente al estar ejecutando la obra, de acuerdo -- con las especificaciones indicadas en las figuras antes -- mencionadas.



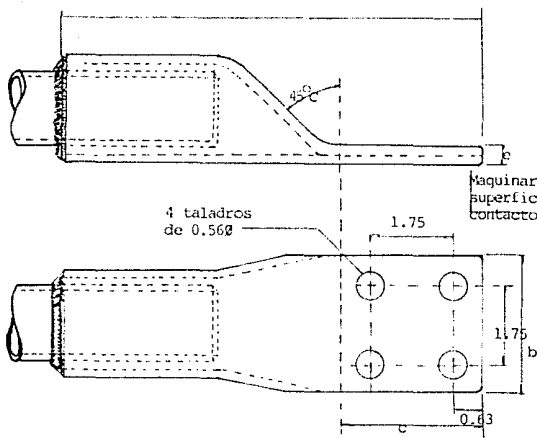
Notas:

- 1.- Para clema fija soldar en el terreno.
- 2.- Catálogo de clema fija U 123.
- 3.- Acot. en pulgadas.
- \* Cedula 80
- 4.- Se suelda en el taller.

CAT.	CONDUCTOR			CONECTOR							
	d	d1	ESQ	a	a1	d	e	L	L1	c	
0125-3	1.25	1.38	1.66	2.00*	1.94	2.38	3.0	0.44	5.75	1.5	2.25
0175-5	1.25	1.38	1.66	2.00*	1.94	2.38	5.0	0.44	7.75	1.5	2.25
0200-3	2.00	1.88	2.38	2.50	2.47	2.88	3.0	0.50	5.75	1.5	2.75
0200-5	2.00	2.08	2.38	2.50	2.47	2.88	5.0	0.50	7.75	1.5	2.75
0250-3	2.50	2.47	2.88	3.00	3.07	3.50	3.0	0.69	5.75	2.25	3.13
0250-5	2.00	2.47	2.88	3.00	3.07	3.50	5.0	0.69	7.75	2.25	3.13
0300-3	3.00	3.07	3.50	3.50	3.55	4.00	3.0	0.69	5.75	2.25	3.63
0300-5	3.00	3.07	3.50	3.50	3.55	4.00	5.0	0.69	7.75	2.25	3.63
0400-3	4.00	4.03	4.50	4.50*	4.61	5.56	3.0	0.75	5.75	2.25	4.50
0400-5	4.00	4.03	4.50	4.50*	4.61	5.56	5.0	0.75	7.75	2.25	4.50

U.N.A.M.		E.N.E.P.	
CLEMA FIJA O DESILIZANTE AL.			
1990	CONECTORES.		
			FIG. 2-1



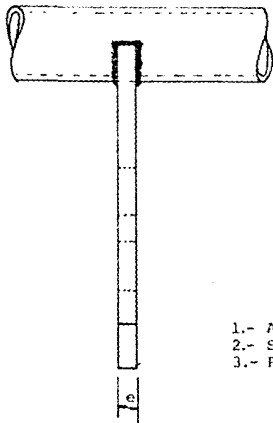
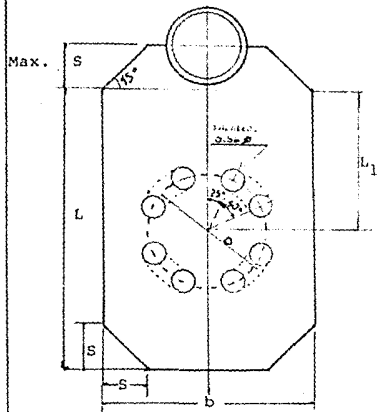


NOTAS :

- 1.- 4 Taladros N E M A
  - 2.- Acot. en pulgadas
  - 3.- Se prepara en el Taller
  - 4.- Se suelda en el terreno.
- \* Cedula 80.

C A T	CONDUCTOR			C O N E C T O R					L	e	b	c
	NOM	INT	EXT	NOM	INT	EXT						
A075	0.75	1.024	1.05	1.50	1.44	1.88	9	0.43	3	3		
A125	1.25	1.33	1.66	2.00*	1.94	2.38	9	0.43	3	3		
A200	2.00	2.08	2.38	2.50	2.47	2.88	9	0.50	3	3		
A250	2.50	2.47	2.66	3.00	3.07	3.50	11	0.50	4.38	3		
A300	3.00	3.07	3.50	3.50	3.55	4.00	11	0.68	4.75	3		
A400	4.00	4.03	4.50	4.50	4.50	5.00	13	0.87	5.75	3		

U.N.A.M.		E.N.E.P.	
ZAPATA A.L.			
1990	C O N E C T O R E S		
FIG. 2-2			



NOTAS:

- 1.- Act en pulgadas
- 2.- Se suelda en el terreno
- 3.- Para usarse hasta 85 KV.

CAT	CONDUCTOR			C O N E C T O R					
	Ø NOMI	Ø INT	Ø EXT	b	D	L	L <sub>1</sub>	S	e
B125	1.25	1.38	1.66	4.5	2.47	6.0	3.0	1.0	0.41
B200	2.00	2.08	2.38	4.5	2.47	6.0	3.0	1.0	0.50
B250	2.50	2.47	2.88	4.5	2.47	6.0	3.0	1.0	0.69
B300	3.00	3.07	3.50	4.5	2.47	6.5	3.5	1.0	0.69
B400	4.00	4.03	4.50	4.5	2.47	6.5	3.5	1.0	0.75

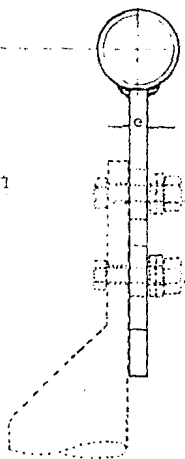
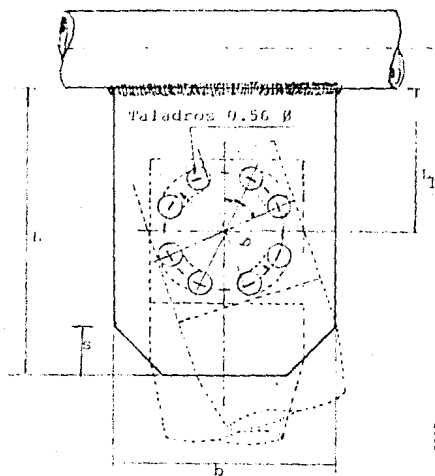
U.N.A.M. E.N.E.P.

CONECTOR "T" AL  
(TRANSVERSAL)

1990

C O N E C T O R E S

FIG. 2-3

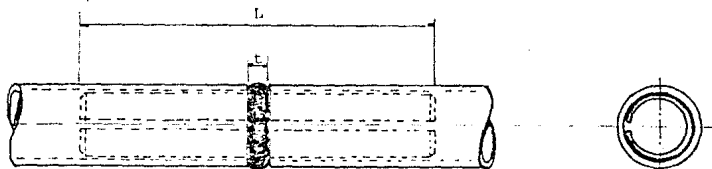


NOTAS :

- 1.- Acot. en pulgs.
- 2.- Se suelda en el terreno.
- 3.- Para usarse hasta 85 KV.

CAT	CONDUCTOR			CONECTOR					
	$\frac{D}{INP}$	$\frac{D}{EXP}$	$\frac{D}{EXP}$	b	c	L	$L_s$	s	D
T125	1.25	1.39	1.66	4.50	0.44	6.00	3.00	1.0	2.47
T200	2.00	2.66	2.38	4.50	0.50	6.00	3.00	1.0	2.47
T250	2.50	2.47	2.88	4.50	0.69	6.00	3.00	1.0	2.47
T300	3.00	3.07	3.50	4.50	0.69	6.00	3.00	1.0	2.47
T400	4.00	4.03	4.50	4.50	0.75	6.00	3.00	1.0	2.47

U.N.A.M.		E.N.E.P.	
CONECTOR "T" A L .			
( A X I A L )			
1990	CONECTORES .		
			FIG. 2-4



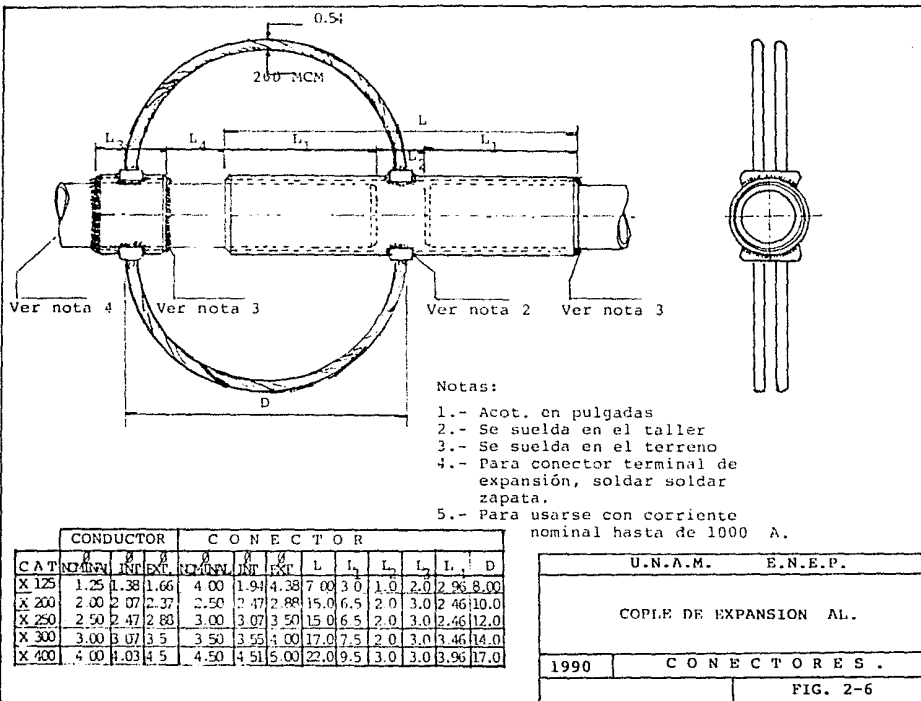
NOTAS

- 1.- Para hacerse en el terreno
- 2.- Acot. en pulgadas.

CAT.	CONDUCTOR			C O N E C T O R				
	NOMINAL	D	EXT.	NOMINAL	D	EXT.	L	t
S 125	1.25	1.38	1.66	Para fabricar el	7.00	0.32		
S 200	2.00	2.08	2.38	conector, utili-	10.32	0.32		
S 250	2.50	2.47	2.88	zar el mismo ca	15.00	0.34		
S 300	3.00	3.07	3.5	libre del conduc	17.0	0.44		
S 400	4.00	4.03	4.5	tor, ranurar blo	24.0	0.50		

como se indica.

U. N. A. M		E. N. E. P.	
C O P L E A L .			
1990	C O N E C T O R E S .		
FIG. 2-5			



AISLADORES PARA LAS BARRAS COLECTORAS.

1. TIPOS DE AISLADORES.

Actualmente, en el proceso para la selección de un aislamiento se debe tratar de obtener el mejor diseño y al mismo tiempo el de mayor eficiencia y ésto se logrará con un material que reúna muy buenas propiedades.

El aislamiento debe tener un satisfactorio esfuerzo mecánico sobre todo, en los soportes físicos de todas las fuerzas que se van a encontrar durante la operación. En consecuencia éste debe aguantar los abusos que ocurren durante la fabricación, preformado, proceso e instalación en el equipo.

Las más importantes propiedades mecánicas que un aislamiento eléctrico debe poseer son:

- a).- La rigidez, siempre y cuando ésta no sea frágil o quebradiza.
- b).- Los esfuerzos, son varios que el aislamiento debe soportar:

Esfuerzo al desgarre

Esfuerzo al corte

Esfuerzo a la flexión

Esfuerzo a la tensión

- c).- Debe tener buena resistencia a la abrasión, sobre todo cuando el equipo donde se instale vaya a operar en ambientes donde existan materiales en suspensión que puedan provocar los fenómenos abrasivos.
- d).- La vibración no es un fenómeno del cual está exento el equipo eléctrico y por lo tanto el aislamiento esta - - bajo tales circunstancias cuando el fenómeno ocurre y - debe estar en condiciones de soportarlo.

Los requerimientos eléctricos son los siguientes:

- a).- Esfuerzo dieléctrico de ruptura es la más importante -- propiedad eléctrica de los aislamientos. Una reducción de esta propiedad puede ocurrir durante el preformado y la instalación.
- b).- La resistividad debe ser alta para que el aislamiento - sea efectivo y evitar calentamientos.
- c).- El factor de potencia es una variable que depende sobre todo del uso del material o aparato. Una baja pérdida - dieléctrica es siempre una propiedad deseada aunque la importancia puede variar con la aplicación.
- d).- La constante dieléctrica puede ser o no significativa.

- e).- Resistencia al efecto corona: esta es una propiedad -- deseable; pero se vuelve imprescindible en operaciones de 6000 volts en adelante, donde este fenómeno no se - presenta muy activo.
- f).- También debe tener resistencia al arco.

Los aisladores para las barras colectoras se definen como - todos aquellos elementos que fijan las barras colectoras a la estructura y además proporcionan el nivel de aislamiento necesario.

Para la selección adecuada de un determinado tipo de aislador, depende de varios factores, de los cuales podemos mencionar, el tipo de barra que se utilizará, el nivel de aislamiento que se determine para el juego de barras, los esfuerzos a que esté sujeto, condiciones ambientales, etc.

Por lo regular se usan tres tipos de aisladores que son: los aisladores rígidos, las cadenas de aisladores y los - aisladores de tipo especial.



## 1.2 AISLADORES RIGIDOS.

Este tipo de aisladores se usa para soportar barras rígidas como son los tubos y las soleras. Existen dos tipos de aisladores rígidos: los aisladores tipo alfiler y los aisladores tipo columna.

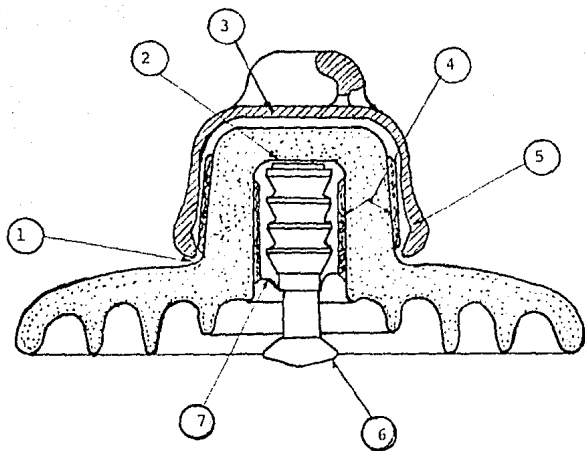
a).- Aisladores tipo alfiler. Cada elemento de este tipo de aislador está formado por una serie de aisladores concéntricos formando un conjunto que refuerza la distancia de flameo. Su principal ventaja es que evita que entre sus pliegues penetre la contaminación.

Su desventaja es lo difícil de su limpieza.

Este tipo de aislador se usa solo, o en columna, superponiendo uno sobre otro hasta alcanzar el nivel de aislamiento deseado.

En la figura 3-1 se muestra el corte de un aislador y se mencionan sus principales características técnicas electro-mecánicas.

FIG. 3-1.



#### CARACTERISTICAS TECNICAS

- 1.- Claro apropiado entre el filo de la cachucha y la parte superior de la porcelana.
- 2.- Roldana fibrosa tratada, provee amortiguamiento entre la parte superior del alfiler y la porcelana.
- 3.- Compuesto elástico especial aplicado a la cabeza de la porcelana por un proceso de moldeo en caliente provee --

amortiguamiento entre la cachucha y la porcelana.

- 4.- Pasta especial de porcelana horneada apropiadamente - - para asegurar la máxima unión entre las partes metáli - cas y las de porcelana.
- 5.- La mejor clase de cemento fresco para mantener unidas - las diferentes partes.
- 6.- El alfiler de acero forjado asegura una exacta observa - ción de las dimensiones standard.
- 7.- Compuesto sellante para impedir la entrada de humedad - en el área del alfiler.

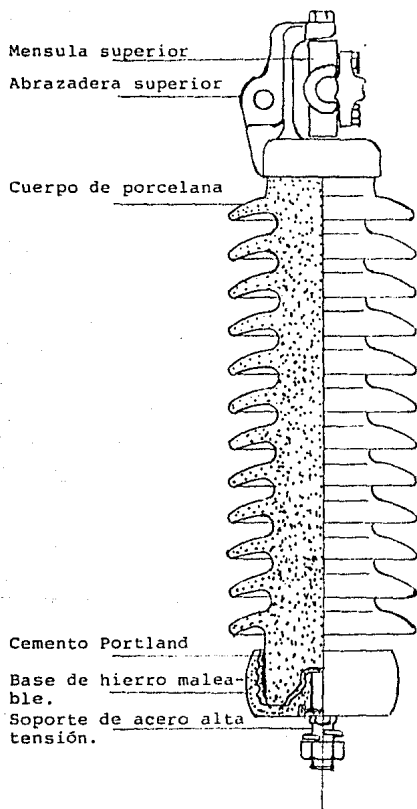
b).- aisladores tipo columna.

Este tipo de aislador está formado de una sola pieza de - - mayor longitud que el tipo anterior.

Actúa como una columna mecánica.

A continuación se muestra la figura 3-2, de un aislador - - tipo columna que se puede utilizar en forma horizontal:

FIG. 3-2.



Sus principales ventajas son:

- 1.- Alta resistencia mecánica.
- 2.- Alta rigidez.
- 3.- Ofrece una superficie mayor a la atmósfera contaminante.
- 4.- Mayor estabilidad.
- 5.- Aunque se contamina más, tiene mayor facilidad en su - -  
limpieza, ya sea por lluvia o por algún medio artificial

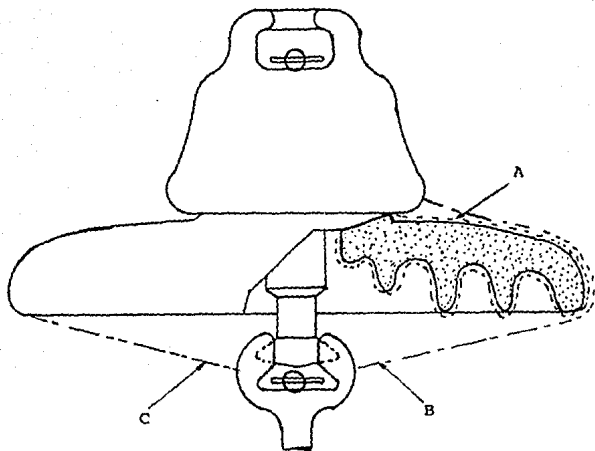
Este tipo de aisladores se pueden utilizar solos o ensamblados uno sobre de otro como en los tipo alfiler.

### 1.3 CADENA DE AISLADORES

Se usan para soportar barras colectoras de cable. La selección del aislador adecuado, se hace de acuerdo con los esfuerzos mecánicos y eléctricos a que se van a sujetar.

Se usan enlazando un aislador con otro formando una cadena - hasta obtener el nivel deseado de aislamiento. En la figura 3-3, que se muestra a continuación, se mencionan algunas de las características de los aisladores que forman cadenas.

FIG. 1-3.



A. DISTANCIA DE FUGA.

La distancia de fuga en un aislador de suspensión, es la longitud total de las superficies de aislamiento, entre terminales. Esto representa la suma de las distancias más cortas medidas a través de la superficie del aislador entre las partes conductoras, cuando es probado el flameo en seco, de

acuerdo con la especificación número 41 del Instituto Americano de Ingeniería Eléctrica.

B. DISTANCIA DE FLAMEO EN SECO.

La distancia de flameo en seco ó "Distancia Golpeadora", en el aislador de suspensión, representa la suma de las distancias más cortas a través del aire o sobre la superficie, -- entre las partes metálicas vivas, alrededor de la porcelana del aislador cuando éste es arreglado para probarse al flameo en seco, observando la especificación número 41 del Instituto Americano de Ingeniería Eléctrica.

C. DISTANCIA DE FLAMEO EN HUMEDO.

La distancia de flameo en húmedo del aislador de suspensión, representa la suma de las distancias a través del aire entre los puntos secos de la superficie, cuando ha sido aplicada a 45 grados con la vertical, una precipitación pluvial y el -- aislador ha sido arreglado para flamearse en húmedo.

NOTA: La longitud de sujeción de una cadena de 6 aisladores, seleccionada al azar, debe ser igual a 6 veces la longitud nominal de cada aislador +- 19 mm.

#### 1.4 AISLADORES ESPECIALES.

Corresponde a todos los tipos de aisladores que tienen un --  
diseño especial debido a las condiciones en las cuales se --  
van a instalar.

Algunos de ellos son del tipo de aislamiento reforzado y que  
se utilizan en los casos en que las subestaciones, están --  
ubicadas en zonas con alto nivel de contaminación (polvo --  
humos químicos, humedad, etc.).

A continuación, se ilustra este punto con algunas figuras de  
aisladores soporte para barras colectoras.

Figura 3-4 AISLADOR SOPORTE PARA BARRA COLECTORA.

Figura 3-5 herrajes conectores para 1, 2, 3 y 4 barras.

Figura 3-6 VISTA LATERAL DEL AISLADOR TIPO SOPORTE.



AISLADOR SOPORTE PARA BARRA COLECTORA  
SERVICIO INTERIOR

FIG. 3-4

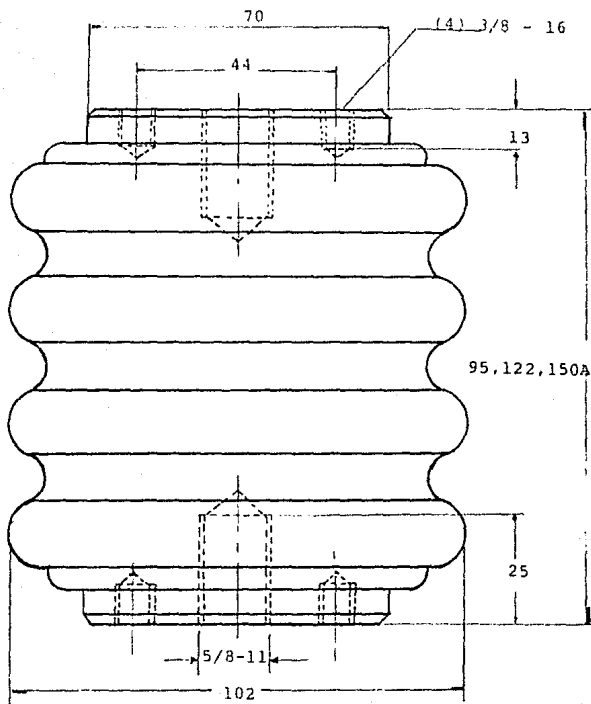


FIG. 3-5

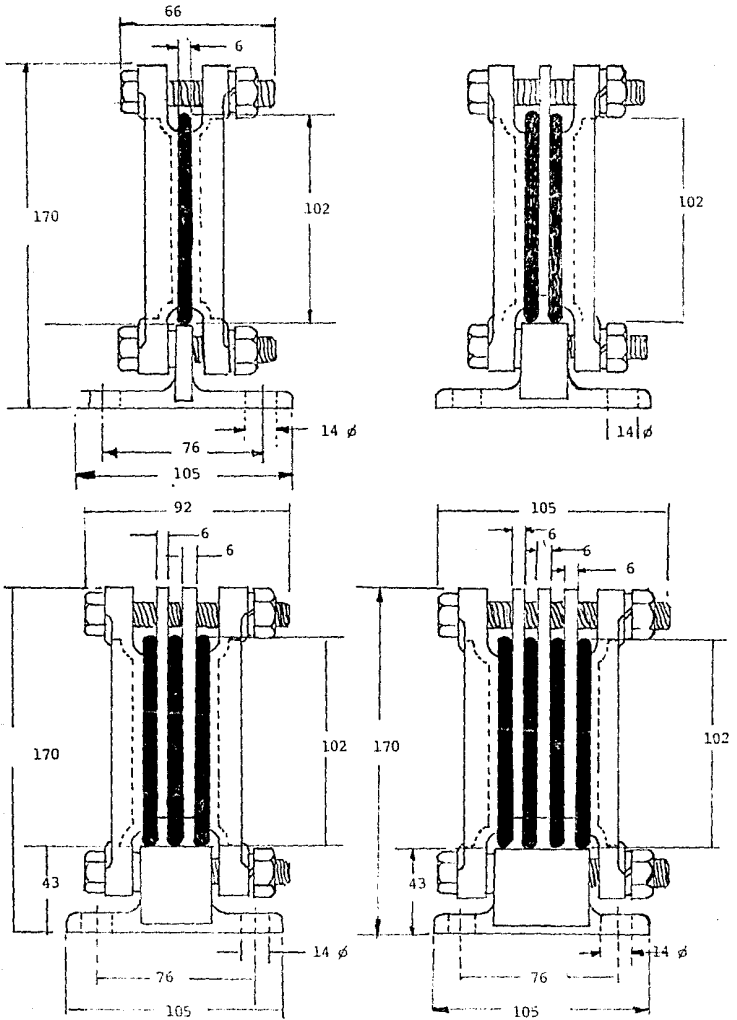
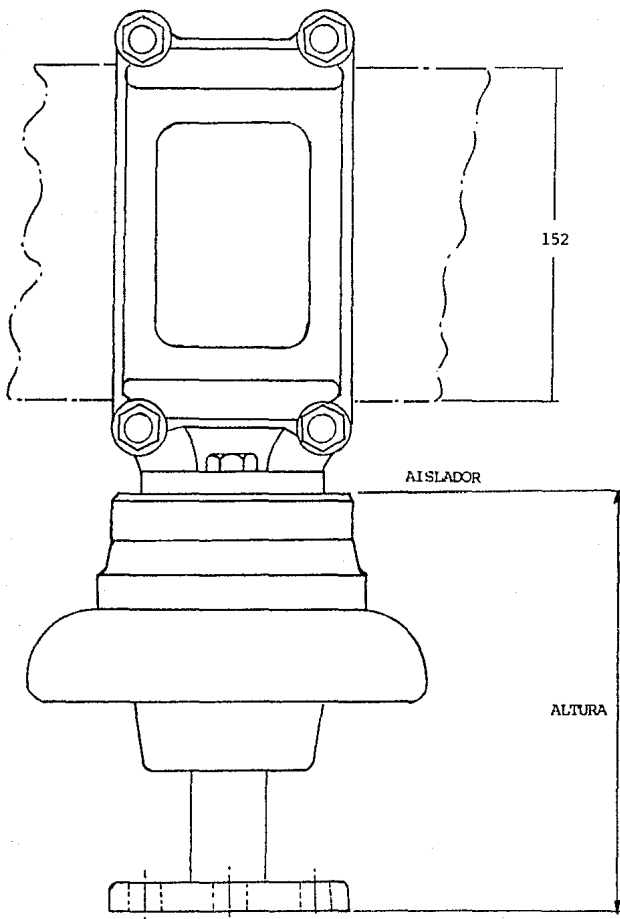


FIG. 3-6  
VISTA LATERAL

108



152

AISLADOR

ALTURA

## 2. MATERIALES.

Los materiales aislantes más usados son la porcelana y el vidrio templado.

Las principales características de los materiales aislantes son:

- a).- Alta resistencia eléctrica.
- b).- Alta resistencia mecánica.
- c).- Estructura muy densa.
- d).- Cero absorción de humedad.

Las cuchillas y alfileres de los aisladores están hechos de fundición del hierro maleable.

La ventaja del hierro maleable, es que elimina la oxidación y por lo tanto no es necesario su galvanización.

La unión de los materiales aislantes y los metales, se hace por medio de tratamientos especiales que aumentan la adherencia entre las superficies.

## 3. CARACTERISTICAS.

Los aisladores del tipo alfiler y columna , tienen caracte -  
rísticas eléctricas muy parecidas.

El número de piezas ensambladas una sobre otra para los di -  
ferentes niveles de voltaje adoptados en las subestaciones -  
para las condiciones de altura sobre el nivel del mar de - -  
2300 mts. (Ciudad de México), son las siguientes:

TIPO ALFILER VOLTAJE.	NIVEL DE AISLA- MIENTO AL IM -- PULSO. KV.	NUMERO DE PIEZAS.
23 KV	150	1
85 KV	550	3
230 KV	1300	7
400 KV	1800	10
TIPO COLUMNA VOLTAJE.	NIVEL DE AISLA- MIENTO AL IM -- PULSO. KV.	NUMERO DE PIEZAS.
85 KV	550	1
230 KV	1175	3
400 KV	1675	5

TABLA No. 9

TABLA No. 10

CARACTERISTICAS DE AISLADORES TIPO COLUMNA EN INTEMPERIE  
(TEMPERATURA 10°C A 40°C 50/60 HZ)

VOLT. NOMINAL KV	DIMENSIONES ALTURA mm (PULG.) DIAM. mm (PULG.)		RESISTENCIA MECANICA					CARACTERISTICAS ELECTRICAS.				NORMAS	TIPO
			CANTILIVER		RESISTENCIA MINIMA			NIVEL DE IMPULSO 1.2 X 50 SEG. KV	NIVEL DE AISLAM. A FREC. NOMINAL		DIST. DE FU. GA. mm (PULG.)		
			VERTICAL PISO KGS (LBS)	VERTICAL TECHO KGS (LBS)	TENSION KGS (LBS)	TORSION KG-M (LB-PULG.)	COMPRESION KGS (LBS)		HUMEDO KV	SECO KV			
23	305 (12)	267 (10½)	908 (2000)	454 (1000)	2270 (5000)	92 (8000)	4540 (10000)	150 NIVEL- DEL MAR 210	60 (N.M.)	70 (N.M.)	508 (20)	ANSI- C29.8	CAM- PANA
85 Y 230	368 (14½)	432 (17)	3178 (7000)	1816 (4000)	9080 (20000)	461 (40000)	27240 (60000)	(NIVEL- DEL MAR)	75 (N.M.)	115 (N.M.)	838 (33)	ANSI- C29.8	CAM- PANA
85	1220	240	817 (1800)		--	408 (35385)	--	550 (1000 M. S.N.M.)	230 (1000 M. S.N.M.)	--	1970 (77½)	CEI- 273	CILIN DRICO
230	2650	280	409 (900)		-	306 (26540)	--	1175 (1000 M. S.N.M.)	510 (1000 M. S.N.M.)	--	4600 ---	CEI- 273	CILIN DRICO
400	3850	350	612 (1340)		-	306 (26540)	--	1675 (1000 M. S.N.M.)	740 (1000 M. S.N.M.)	--	6700	CEI- 273	CILIN DRICO

TABLA No. 11

CARACTERISTICAS DE AISLADORES PARA CADENAS

VOLT. NOMI- NAL.  KV	NUM. DE UNI- DADES	DIMENSIONES CANIND		VOLTAJE DE FLA- MEO DE LA CADENA BAJA FRECUENCIA. (NIVEL DEL MAR)		DIST. DE FUGA DE LA CADE- NA.  mm (PULG)	DIST. DE ARCO EN SECO PULG.	RESISTENCIA MECANICA Y ELECTRICA COMBINADA  KG (LBS)	RESISTEN- CIA AL IMPACTO  PULG-LBS	CARGA MAXI- MA SOSTENI- DA.  LBS	PESO POR UNIDAD.  LBS	CATALOGO  OHIO BRASS
		LONGITUD (mm) (PULGS)	DIAMETRO DEL DISCO DE PORCEL. mm (PULG)	SECO KV	HUMEDO KV							
			1	(5)	(10)	80	50	(12)	7 3/4	8165 (18000)	90	9000
	1	(5-3/4)	(10)	80	50	(12)	7 3/4	8165 (18000)	90	9000	1180	47310
85	6	127 (5)	254 (10)	345	235	182	--	8165 (18000)	90	9000	1180	47300
230	16	146 (5-3/4)	254 (10)	875	635	487	--	8165 (18000)	90	9000	1180	47310
400	23	146 (5-3/4)	254 (10)	1185	880	--	--	8165 (18000)	90	9000	1180	47310

## CONSIDERACION DE CARGAS EN EL DISEÑO DE BARRAS.

Las cargas consideradas en el diseño de las barras colectoras, son todas aquellas variables que intervienen en el cálculo y que, de una forma u otra, influyen en el resultado del diseño. Estas cargas se pueden dividir en dos grupos principales que son: cargas estáticas y cargas dinámicas.

## 1. CARGAS ESTATICAS.

Una definición simple de las cargas estáticas, la presentamos como todas aquellas cargas que actúan sobre las barras, en forma constante y son consideradas en el diseño en forma vertical.

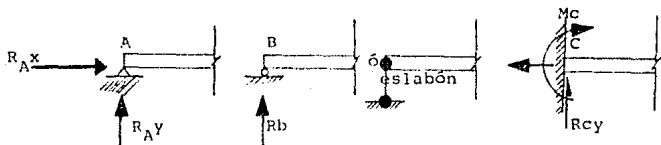
Para el equilibrio de un cuerpo sólido, las ecuaciones de estática requieren que se cumplan las siguientes condiciones:



$$\begin{array}{ll} \sum F_x = 0 & \sum M_x = 0 \\ \sum F_y = 0 & \sum M_y = 0 \\ \sum F_z = 0 & \sum M_z = 0 \end{array}$$

La primera columna expresa que deben ser cero las sumas de las proyecciones de todas las fuerzas que actúan en un cuerpo, tomadas según las direcciones de los ejes de un sistema ortogonal de referencia (x,y,z). La segunda indica que tienen que ser iguales a cero las sumas de los momentos de las fuerzas con respecto a cada uno de los ejes del sistema (x,y,z), para que haya equilibrio. En un sistema planar en el que todos los miembros y fuerzas están en un mismo plano, -- como el xy por ejemplo, las relaciones  $\sum F_z = 0$ ,  $\sum M_x = 0$ ,  $\sum M_y = 0$ , aunque siguen siendo válidas, resultan triviales.

#### REPRESENTACION ESQUEMATICA DE APOYOS.



Resiste fuerzas horizontales y verticales      Resisten fuerzas solo verticales.

Apoys simples

Resiste fuerzas horizontales, verticales y momentos

Empotramiento

## 1.1 PESO DEL CONDUCTOR.

Uno de los factores básicos en la selección de un conductor, es el peso del mismo y los pesos adicionales como son los -- conectores, hielo y los cables que se llegan a instalar dentro de los tubos, para amortiguar las vibraciones ocasionadas por agentes externos al tubo.

En el diseño de barras, el factor determinante debido a los pesos anteriores, es la deflexión del tubo. Los límites prácticos para una máxima deflexión del tubo son: 1/150 del -- claro, en caso de usar dos apoyos (como viga libremente apoyada con carga uniformemente repartida) y de 1/200 del claro en caso de usar más de dos apoyos (viga continua con carga -- uniformemente repartida).

Una viga con carga uniformemente distribuida y libremente -- apoyada tiene una flecha máxima de:

$$f = \frac{5 W_t l^3}{384 EI}$$

Donde:  $W_t$  = Carga total en lbs.

$l$  = Claro en pulgs.

E = Modulo de elasticidad en lb/pulg<sup>2</sup>

f = Flecha en pulgs.

W = Peso unitario del tubo en lbs/pie.

I = Momento de inercia de la sección en pulg<sup>4</sup>.

En el caso de que el tubo esté como una viga continua o sea, que el tubo esté apoyado con elementos fijas, se usa 1/5 - - - de la flecha de una viga libremente apoyada. Si la viga tiene dos claros y es libre en los extremos o el tubo tiene - - apoyos deslizantes, se usan 2/5 de la flecha de una viga libremente apoyada.

En algunos casos, una vez calculada la flecha de la barra, - se le da a esta una contraflecha, antes de montarla, igual a la flecha calculada y en esta forma se ve el tubo como una - viga completamente horizontal.

Para reducir las flexiones, se usan tubos de mayor diámetro, resultando ésto más económico, porque se reducen así el número de soportes necesarios para la barra y por lo tanto el peso de la estructura. El incremento en el diámetro del tubo no solo hace posibles mayores claros, sino que también reduce las pérdidas por efecto corona.

Las barras de tubo deben quedar selladas en sus extremos con tapones para evitar la acumulación de agua, la cual ocasiona un aumento en el peso del tubo y por lo tanto en la deflexión.

Estos tapones deben tener forma esférica, para reducir las pérdidas por efecto corona.

Aunque el módulo de elasticidad del aluminio es aproximadamente  $2/3$  del valor del módulo de elasticidad del cobre, los tubos de aluminio tienen mayor deflexión debido a que el peso, para igual volumen, es de  $1/3$  del de cobre. Pero en caso de acumular hielo, a mayor espesor de éste, el tubo de aluminio se deflexiona más que el de cobre.

## 2. CARGAS DINAMICAS.

Para tener una definición de las cargas dinámicas, se dice que son todas aquellas cargas que actúan sobre las barras en forma directa y variable; se consideran en el diseño en forma horizontal o axial.

### 2.1 EXPANSIONES TERMICAS.

Una barra de cobre se expande 1.12 pulgadas por 100 pies de longitud con un incremento de temperatura de 100°F. Lo peligroso en las barras colectoras no es la expansión de las barras sino la expansión diferencial entre el material de la barra y la estructura de acero que lo soporta rígidamente, - lo que ocasiona esfuerzos excesivos en los aisladores soporte.

Este efecto es aún más pronunciado si las barras colectoras llevan corriente, ya que en este caso, el calentamiento se produce solamente en las barras, mientras que la estructura permanece estática, lo cual produce esfuerzos excesivos en los aisladores, llegandose a romper.

TABLA DE COEFICIENTES DE EXPANSION LINEAL DE MATERIALES COMUNMENTE USADOS EN LAS BARRAS COLECTORAS.

MATERIALES	(°C) <sup>-1</sup>	(°F) <sup>-1</sup>
COBRE	0.0000166	0.00000928
ALUMINIO	0.0000231	0.0000128
ACERO	0.0000119	0.0000067
CONCRETO	0.0000143	0.0000079

TABLA No 12.

Cualquier combinación de los materiales mencionados en la --  
tabla No. 12, producen esfuerzos debidos a sus diferentes --  
expansiones térmicas.

## 2.2 ESFUERZOS MECANICOS.

Hay otros esfuerzos en las barras que pueden causar ruptura\_  
de los aisladores. Estos esfuerzos son del tipo mecánico y -  
a continuación se enlistan:

- a).- Impacto debido a la operación de interruptores.
- b).- Esfuerzos mecánicos debidos a tormentas o huracanes.
- c).- Esfuerzos diferenciales debido a los asentamientos de -  
las cimentaciones del equipo pesado.

Debido a lo anterior el diseño de las barras colectoras debe  
hacerse en tal forma, que los esfuerzos no se transfieran a  
los aisladores soporte o a las boquillas de porcelana del --  
equipo pesado. Para ésto, los esfuerzos deben ser absorbidos  
por juntas de expansión y apoyos deslizantes.

### 2.3 ESFUERZOS ELECTROMAGNETICOS.

Estos esfuerzos son producidos por las corrientes de corto - circuito en el sistema que se trate. Un conductor debe tener suficiente resistencia mecánica, para soportar tambien los - cortocircuitos que producen una interacción entre la corriente de cortocircuito y el campo magnético, produciendo fuer - zas que son proporcionales al cuadrado de la corriente de -- cortocircuito e inversamente proporcional a la separación -- entre fases.

Para el diseño de un bus se debe alcanzar un balance econó - mico de acuerdo con los tres puntos básicos siguientes:

- a).- Limitando las corrientes máximas de cortocircuito.
- b).- Aumentando la separación entre fases.
- c).- Cambiando los arreglos de los buses.

Los esfuerzos debidos a cortocircuitos, actuando sobre los - tubos, son principalmente laterales aunque también hay que - tomar en cuenta los esfuerzos longitudinales y los torsiona - les. Estos esfuerzos los reciben íntegramente los aislado - res soporte de las barras.

La magnitud de las fuerzas laterales pueden expresarse según la fórmula:

$$F = K \frac{5.4 I^2 \times 10^{-7} \times L}{d}$$

Donde:

F = Fuerza lateral en libras.

I = Valor instantáneo de la corriente en Amperes.

L = Longitud del claro en pies.

d = Distancia entre ejes de conductores de fases diferentes en pulgadas.

K = Factor de corrección (para tubos = 1)

En circuitos monofásicos la fuerza máxima bajo condiciones de cortocircuito puede darse por la fórmula siguiente:

$$W = 43.2 \frac{I^2}{d} \times 10^{-7}$$

Donde:

W = Fuerza lateral en lbs/pie

I = Valor efectivo de la corriente de cortocircuito simétrico



co en amperes.

d = Distancia entre centros de conductores en pulgadas.

En circuitos trifásicos, la fuerza máxima bajo condiciones de cortocircuito puede darse por la fórmula:

$$W = 37.5 \frac{I^2}{d} \times 10^{-7}$$

La separación mínima entre fases diferentes viene dada, en teoría, por la distancia de flameo entre dos electrodos en forma de agujas, determinada experimentalmente. En la práctica este valor se amplía para tomar en cuenta diferentes formas de conductores, características del aire circundante y los esfuerzos mecánicos debidos a los campos magnéticos.

FACTORES SECUNDARIOS EN EL DISEÑO  
DE LAS BARRAS COLECTORAS

En este capítulo se verá que con respecto a la forma y condiciones de las barras mismas existen varios factores inherentes, que no dependen de las condiciones externas y que son importantes para determinar la capacidad de la corriente que pueden conducir un grupo de barras colectoras. Entre estos factores a continuación se mencionan los de mayor importancia:

EFFECTO CORONA  
RADIO INTERFERENCIA  
EFFECTO SUPERFICIAL  
EFFECTO DE PROXIMIDAD  
EMISIVIDAD TERMICA  
VIBRACION  
CORROSION

## 1. EFECTO CORONA

El efecto corona es una descarga, causada por la ionización del aire que rodea al conductor cuando éste se encuentra -- energizado.

Se identifica al escucharse un zumbido y es visible por la noche, ya que se observa como un resplandor de color violeta.

El efecto corona es debido al gradiente de potencial en la superficie de los conductores y es función del diámetro del conductor.

Los factores que aumentan las pérdidas por efecto corona -- son: el diámetro del conductor, la rugosidad de la superficie del conductor, la humedad del medio ambiente y la altura sobre el nivel del mar, a la que están instalados los -- conductores.

Las pérdidas en los cables durante tiempo lluvioso pueden -- ser hasta 12 veces mayor que en tiempo seco. A una altura -- de 300 mts. se reduce el nivel de voltaje al cual se ini -- cia el efecto corona, en un 32 %.

Como resultado del efecto corona, el diámetro de un conductor no vendrá definido por la densidad de corriente, sino por la distancia entre apoyos y por el mencionado efecto -- corona.

Se ha encontrado que el tipo de conductor más eficiente -- para altos voltajes es el conductor cilíndrico hueco, o alguno con núcleo de material relativamente barato rodeado de una carga de material conductor.

#### CALCULO POR EFECTO CORONA EN LAS BARRAS DE 400 KV

El efecto corona causa pérdidas de energía y produce radiaciones de alta frecuencia (de 5 a 10 megaciclos), que pueden causar interferencia en receptores de radio próximos al conductor de alta tensión, donde se origina el efecto corona. Este fenómeno de radio-interferencia se atenúa muy rápidamente con la distancia y a una distancia superior a -- unos 50 mts., del conductor de alta tensión, el fenómeno se ha atenuado lo suficiente para no ser de significación.

El valor eficaz de la tensión al neutro, para el cual se -- inicia el efecto corona en la superficie de un conductor, -- se llama tensión crítica disruptiva, o sea la tensión a la -- cual se inician las pérdidas por efecto corona, siendo --

estas:

a).- Para el caso de circuitos trifásicos con un solo conductor por fase:

$$V_o = 69m f^{2/3} (1-0.07r) r \text{ Log}_{10} \frac{\text{D.M.G.}}{\text{R.M.G.}}$$

b).- Y, para el caso de circuitos trifásicos con conductores múltiples por fase:

$$V_o = 69m f^{2/3} (1-0.07r) \left(1 - \frac{(n-1)r}{R}\right) nr \text{ Log}_{10} \left( \frac{\text{DMG} \cdot 2(\text{HMG})}{\text{RMG} \sqrt{4(\text{HMG})^2 + (\text{DMG})^2}} \right)$$

Donde:

$V_o$  = Tensión crítica disruptiva, valor eficaz en KV.

$m$  = Factor de superficie =  $m_f \cdot m_s$

$m_f$  = Coeficiente de forma.

$m_f = 1$  para una sección perfectamente circular.

$m_f = 0.85$  para cable con 6 hilos en la capa exterior.

$m_f = 0.9$  para cables con 12 a 30 hilos en la capa ext.

$m_s$  = Coeficiente de superficie.

$m_s = 0.9$  para cables limpios o envejecidos.

$m_s = 0.8$  para cables nuevos.

$m_s = 0.7$  para cables sucios o engrasados.

$m_s = 0.5$  para cables cubiertos con gotas de agua.

$d$  = Factor de densidad del aire.

$r$  = Radio del conductor en cm.

$n$  = Número de conductores por fase.

$R$  = Radio del círculo sobre el que están colocados los "n" conductores, en cm.

D.M.G. = Distancia media geométrica en metros.

R.M.G. = Radio medio geométrico en metros.

H.M.G. = Altura media geométrica en metros.

Por tanto, no se entrará en más detalle y se dará como ejemplo la aplicación de las citadas fórmulas, el cálculo realizado para barras de 400 KV.

### 1er. TIPO

Barras de cable de 2 conductores por fase, ACSR de 1113 MCM cada uno, dispuestos en forma horizontal con separación de 8 mts. entre fases.

Flecha media,  $f = 4$  m.

Radio del conductor,  $r = 1.6$  cm

Factor de superficie,  $m = 0.9 \times 0.9 = 0.81$

El radio del círculo del haz de cables  $R = 22.5$  cm.

El factor de densidad del aire para el Distrito Federal es:

$$\rho = \frac{3.92 \times b}{273 + t} = \frac{3.92 \times 58.5}{273 + 25} = 0.7695$$

b = Presión atmosférica en cm de mercurio

t = Temperatura en grados centígrados.

El número de conductores por fase son n = 2 por tanto:

$$D.M.G. = 8 \sqrt[3]{2} = 8 \times 1.26 = 10.08 \text{ m.}$$

$$R.M.G._c = \sqrt{1.6 \times 45} = 8.45 \text{ cm} = 0.0845 \text{ m.}$$

$$H.M.G. = 21.5 - (0.7 \times 4) = 18.7 \text{ m.}$$

Utilizando la fórmula para conocer el voltaje disruptivo:

$$V_o = 69 \rho^{2/3} (1 - 0.07r) \left(1 - \frac{(n-1)}{R} r\right) n r \log_{10} \left( \frac{DMG}{RMG} \cdot \frac{2(HMG)}{\sqrt{(HMG)^2 + (DMG)^2}} \right)$$

$$V_o = 69 \times 0.81 \times 0.84 (0.929) (0.928) \times 3.2 \log_{10} \left( \frac{10.08}{0.0845} \times \frac{2 \times 18.7}{\sqrt{4 \times 18.7^2 + 10.08^2}} \right)$$

$$V_o = 129.52 \times \log_{10} 115.2 = 267 \text{ KV}$$

El cociente resultante de dividir el voltaje crítico dis --  
ruptivo entre el voltaje al neutro de operación de la barra  
se le conoce como coeficiente de seguridad =  $\frac{V_o}{V_n}$

Coeficiente de seguridad =  $\frac{268 \sqrt{3}}{400} = 1.16 > 1$  por lo --  
cual es correcto.

### 2o. TIPO.

Barras de tubo de 5" de diámetro, de un conductor por fase  
dispuestas en forma horizontal, con separación de 6.50 mts.  
entre fases.

Radio del conductor,  $r = 7$  cm.

Factor de superficie,  $m = 1 \times 0.9 = 0.9$

Factor de densidad del aire en el D.F.  $\rho = 0.7695$

$$\rho^{2/3} = 0.840$$

La separación mínima entre fases es de 6.5 m.

$$D.M.G. = 6.5 \sqrt[3]{2} = 6.5 \times 1.26 = 8.2 \text{ m.}$$

$$V_o = 69 m \rho^{2/3} (1 - 0.07r) r \log_{10} \frac{D.M.G.}{R.M.G.}$$



Sustituyendo en la fórmula respectiva para un solo conductor tenemos que:

$$V_o = 69 \times 0.9 \times 0.84(0.51) \times 7 \log_{10} \frac{820}{7} = 186.5 \times \log_{10} 117.1$$

$$V_o = 386 \text{ KV.}$$

$$\text{Coeficiente de seguridad } V_o / V_n = \frac{386}{\frac{\sqrt{3}}{400}} = 1.67 > 1$$

## 2. RADIO-INTERFERENCIA.

Como se vió en el punto anterior, la corriente que alimenta el efecto corona circula discontinuamente, en forma de descarga y contiene un gran número de armónicas que causan que el conductor emita radiaciones de energía de alta frecuencia. La frecuencia de estas radiaciones varía entre 1 y 10 megaciclos, que corresponde a parte de la banda de frecuencia en amplitud modulada y puede interferir con las señales de radiodifusión, en los receptores próximos a dicho efecto. Ese rango de frecuencias indica que no se tienen interferencias con las señales de televisión ni de radio con frecuencia modulada.

Podemos definir al efecto de radio-interferencia como el --

obtenido en una recepción de radio, cuando la relación de la intensidad de campo deseada, a la intensidad de campo indeseable (ruido atmosférico, ruido producido por el hombre o señal de radio), es menor que el valor detectado por el oído humano en la frontera entre lo satisfactorio y lo insatisfactorio.

## 2.1 METODO CLASICO DE CALCULO.

A continuación se ve el procedimiento para determinar si una cierta configuración de conductores produce una señal de ruido arriba de un nivel tolerable. Para ello se calcula el voltaje a tierra del sistema para un nivel seguro de ruido. Comparando este resultado con el voltaje real que se tiene en la subestación de línea a tierra, se puede saber si los conductores propuestos no causan radio-interferencia.

Los pasos a seguir son las siguientes:

- 1.- Se calcula el máximo gradiente de superficie unitario (gm) en KV/PULG/KV a partir de la fórmula siguiente:

$$g_m = \frac{2}{d_{eq} L_n \left( \frac{4 h}{D} \right)} \quad \dots \quad (1)$$

Donde:

gm = Gradiente unitario máximo de superficie en KV/PULG/KV.

d<sub>eq</sub> = Diámetro equivalente en pulgs.

h = La mitad del espaciamiento entre fases, en pulgs.

En el caso de un solo conductor por fase, d<sub>eq</sub> = 1.

2.- Se determina el gradiente de voltaje en el que el efecto corona es visible.

$$e_v = 46 \left( 1 + \frac{0.48}{\sqrt{d}} \right) \dots (2) \text{ Por lo general en el sistema métrico, } e_v = 15.8 \text{ kv/cm}$$

Donde:

e<sub>v</sub> = Gradiente de voltaje de la superficie al cual, el efecto corona, empieza a ser visible en KV rms / pulg.

d = Diámetro real de un conductor sencillo o el diámetro -- equivalente si se usa conductor trenzado, en pulg.

3.- Cálculo del voltaje del efecto corona visual, aproximadamente igual al voltaje de radio-influencia RIV (Radio Influence Voltage).

$$E_v = \frac{e_v}{g_m} \dots (3)$$

Donde:

$E_v$  = Voltaje de efecto corona visible en KV rms de línea a tierra.

$e_v$  = descrito en el punto 2.

gm = Se menciona en el punto 1.

4.- Cálculo para el ajuste de varias condiciones de superficie.

$$E' = K (E_v) \quad \dots (4)$$

Donde:

$E'$  = Voltaje de efecto corona visible en KV rms de línea a tierra, de un conductor, para la condición de superficie seleccionada.

$E_v$  = Se describe en el punto cuatro.

$K$  = Factor de superficie seleccionado. (tabla No. 13)

5.- Determinación del voltaje de línea a tierra para un nivel específico de RIV (RIV: es el voltaje a tierra del conductor a una frecuencia de radio de 1000 KHZ. No es el nivel de radio-interferencia).

$$E'' = E' (K') \quad \dots (5)$$

Donde:

$E''$  = Voltaje a tierra en KV rms para la condición de la superficie seleccionada y nivel seleccionado de voltaje de radio interferencia.

$E'$  = Ver punto 4.

$K'$  = Factor de multiplicación de RIV. (Ver tabla No. 14)

Nuevamente se recomienda una superficie de conductor cableado a la intemperie. El nivel seguro de RIV (voltaje de radio-influencia) recomendado es 100 micro-volts, que está de acuerdo con el reporte del FCC sobre radio-interferencia, que enumera 6 clasificaciones de radio recepción; la clase más baja teniendo un nivel de ruido máximo, es de 16 db (arriba del nivel de 1 micro-volt/metro). A la distancia de 100 pies de la fuente, un nivel de RIV de 100 microvolt corresponde a un nivel de ruido de aproximadamente -1.56 db, mientras que un nivel de RIV de 1000 micro-volts, corresponde a un nivel de señal de ruido de 18.4 db. Estos valores se derivan de la ecuación No. 6. Como el efecto de las tres fases fué considerado al determinar estos niveles de ruido y el rango de 100 micro-volts está muy abajo de 16 db, se considera que este nivel dá una señal segura de ruido y es adecuada para propósitos de diseño.

Comparando el resultado de este paso con el voltaje a tierra propuesto para el sistema, se determinará si es necesario hacer alguna revisión en el diseño. Si el diseño no es adecuado, la revisión se hará en el tamaño del conductor, en el arreglo físico o en el voltaje de operación.

La fórmula para calcular el campo eléctrico de una línea de transmisión a una distancia de x metros es:

$$E = \frac{V}{x L_n \frac{2D}{d}} \dots\dots (6)$$

Donde:

E = Campo eléctrico en micro-volts/m.

V = Voltaje Máximo de radio-frecuencia del conductor (RIV)- en micro-volts.

D = Distancia entre fases en cm.

d = Diámetro del conductor en cm.

x = Distancia de la fuente en m.

Nivel de ruido en radio, db = 20 log<sub>10</sub> E (arriba del nivel de 1 micro-volt/m).

Las seis clasificaciones de radio recepción anteriormente -

mencionadas, han sido definidas a través de pruebas subjetivas de los efectos de radio-interferencia sobre la recepción de una radio transmisora normal y son las siguientes:

CLASE A - Enteramente satisfactoria.

CLASE B - Muy buena, leve ruido de fondo.

CLASE C - Buena, ruido de fondo evidente.

CLASE D - Ruido de fondo muy evidente aunque se alcanza a escuchar fácilmente en una conversación.

CLASE E - Conversación inteligible únicamente con una concentración severa.

CLASE F - Conversación ininteligible.

#### FACTORES DE SUPERFICIE

CONDICIONES DE LA SUPERFICIE	FACTOR DE SUPERFICIE RECOMENDADO.
Conductor liso.	1.00
Conductor cableado en buenas condiciones, nuevo, limpio y seco.	0.92
Conductor cableado usado a la intemperie.	0.82 *
Conductor cableado usado a la intemperie.	0.68 - 0.78 **
Conductor cableado nuevo, seco y tensionado por medios usuales.	0.53 - 0.73 $\beta$
Conductor cableado, húmedo y nuevo ó usado en la intemperie.	0.16 $\theta$

TABLA No. 13

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- \* Valores obtenidos de muestras en zonas sin contaminación.
  - \*\* 1er. valor obtenido de muestras en zonas altamente contaminadas.
  - 2o. valor obtenido de muestras en zonas poco contaminadas.
  - Ø 1er. valor obtenido de muestras de material muy maltratado.
  - 2do. obtenido de muestras de material poco maltratado.
- Nota: El valor más bajo es el que se usa para calcular - el valor definitivo de RIV.
- @ Factor de superficie para conductores húmedos con diámetro superior a 1"; para diámetros menores de 1" se utilizará un factor ligeramente mayor.

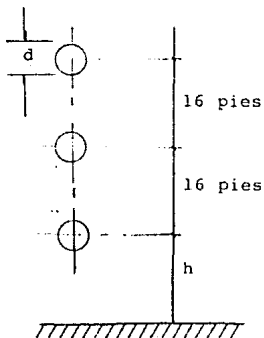
FACTORES DE RADIO INFLUENCIA

CONDICIONES DE LA SUPERFICIE	FACTOR RIV	
	100 Microvolt	1000 Microvolt
Conductores cableados en buenas condiciones, nuevos, limpios y secos.	1.01	1.04
Conductor cableado usado a la intemperie.	1.04	1.07
Conductor cableado, nuevo seco y tensionado por métodos usuales.	1.15	1.25
Conductor cableado, húmedo y nuevo ó usado a la intemperie	1.75	2.50

TABLA No. 14



Ejemplo: Determinar si un cable de 4/0 AWG en un sistema trifásico, con 161 KV produce un nivel de señal de - - ruido seguro.



Donde:

El diametro del conductor es  
 $d = 0.528$  pulg.

La altura de los cables al -  
 suelo  $h = 96$  pulg.

Determinar  $g_m$

1.- Del apendice, encontramos:

$$P_{11} = 2 \text{ Ln } \frac{4h}{d} = 2 \text{ Ln } \frac{4 \times 96}{0.5280} = 2 \text{ Ln } 727.27$$

$$P_{11} = 13.2$$

$$Y Q = \frac{1}{P_{11}} = \frac{1}{13.2} = 0.0759$$

$$\text{Por lo tanto: } g_m = \frac{4}{0.528} (0.0759) = 0.575 \text{ KV/PUL/KV.}$$

Como se trata de un sólo conductor por fase, se omite el - - cálculo del diámetro equivalente (expresión 1).

2.- Determinando el gradiente de voltaje del efecto corona - visible.

$$e_v = 46 \left( 1 + \frac{0.48}{\sqrt{d}} \right) = 46 \left( 1 + \frac{0.48}{\sqrt{0.528}} \right)$$

$$e_v = 76.5 \text{ KV/PULG.}$$

3.- Calculamos el gradiente máximo de superficie:

$$g_m = 4 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{d} \right) Q = 4 \left( \frac{1}{192} + \frac{1}{0.528} \right) 0.0759 = 7.59659 \times 0.0759$$

$$g_m = 0.57658 \text{ KV/PULG/KV}$$

4.- Determinar el voltaje del efecto corona visible.

$$E_v = \frac{e_v}{g_m} = \frac{76.5}{0.575} = 133 \text{ KV rms de la línea a tierra}$$

5.- Calculo de la corrección según la condición de la superficie.

Utilizando los valores de factores de superficie prácticos - de ( 0.68 a 0.78).

$$E' = E_v K$$

Donde el límite inferior  $E' = 0.68 \times 133 = 90.5$  KV rms de --  
línea a tierra.

Límite superior  $E' = 0.78 \times 133 = 104$  KV rms de línea a - -  
tierra.

6.- Cálculo del voltaje de línea a tierra para un nivel de -  
(RIV) específico.

Usando el nivel seguro de (RIV) recomendado, de 100 mi -  
cro volts.

$$E'' = E' (K')$$

Lím. Inf.  $E'' = 90.5 \times 1.04 = 94$  KV rms de línea a tierra.

Lím. Sup.  $E'' = 104 \times 1.04 = 108$  KV rms de línea a tierra.

Finalmente como el voltaje de línea a tierra del sistema de 161 KV, es de 93 KV y este valor está por abajo del valor --  
calculado de 94 KV, se puede decir que el sistema opera se -  
guro, con poca posibilidad de radio-interferencia a una dis-  
tancia de 100 pies de la fuente de radio-interferencia.

### 3. EFECTO SUPERFICIAL.

Una corriente alterna que circula a través de un conductor, -  
produce un flujo magnético que genera una fuerza electromo -  
triz que se opone al paso de la corriente y como en el cen -

tro del conductor el flujo magnético es mayor, se produce el llamado efecto superficial, haciendo que la corriente se concentre en la perifería del conductor, aumentando su resistencia aparente.

Como consecuencia de lo anterior, también se ha encontrado que el conductor más eficiente es el conductor hueco. Cuando se usan grupos de soleras que actúan como un sólo conductor, la corriente se concentra en las soleras exteriores con lo que el efecto es favorable ya que estas soleras son las que tienen mejor ventilación.

#### 4. EFECTO DE PROXIMIDAD.

Las inducciones causadas por la corriente de una barra y la corriente de retorno en la barra paralela, producen el fenómeno conocido como efecto de proximidad. Las corrientes mencionadas, generan campos magnéticos que originan fuerzas electromotrices que se oponen al paso de la corriente en las porciones más alejadas de las barras, provocando que la corriente se concentre en las porciones más cercanas de las dos barras, produciendo un calentamiento mayor en estas zonas.

El efecto de proximidad es inversamente proporcional a la --

distancia entre conductores. Donde hay espacio, se recomienda una separación mínima de unos 45 cm. Al reducirse la distancia, se reduce la capacidad de conducción debido a que -- aumenta la resistencia aparente del circuito.

## 5. EMISIVIDAD TERMICA.

Se define como la velocidad de radiación térmica de un material.

Un conductor cubierto de una superficie oscura puede llevar mayor cantidad de corriente para una determinada elevación -- de temperatura, que un conductor similar pero sin oscurecer la superficie.

Como ejemplo sitamos un conductor de cobre negro que puede -- emitir hasta 25% más calor que un conductor con la superfi -- cie pulida.

El efecto de la superficie de la barra conductora sobre la -- cantidad total de calor disipado, se muestra en la siguiente tabla, estos datos fueron tomados en las pruebas a un con -- ductor redondo de cobre de 4" de diámetro y nos muestra la -- emisividad térmica.

EMISIVIDAD TERMICA

SUPERFICIE	COEF. DE EMISIVIDAD POR RADIACION.	DISIPACION DE CALOR w/ft <sup>2</sup>		
		RADIACION	CONVECCION	TOTAL
PALIDA	0.03	0.68	13.44	14.12
BRILLANTE	0.07	1.58	13.44	15.02
LIGERA OXIDACION	0.30	6.76	13.44	20.20
MEDIANA OXIDACION	0.50	11.27	13.44	24.71
MUY OXIDADA	0.70	15.78	13.44	29.22
PINTURA GRANULADA	0.90	20.30	13.44	33.74
PINTURA LISA	0.95	21.43	13.44	34.87

TABLA No. 15

6. VIBRACION.

La causa de las frecuentes fallas del tipo mecánico, se debe a la vibración de los conductores eléctricos.

La vibración de los conductores aéreos puede ser dividida en dos puntos que son:

- a).- vibraciones resonantes de alta frecuencia y baja amplitud.
- b).- Vibraciones de baja frecuencia y gran amplitud que son llamadas danzantes o galopantes.

Generalmente este tipo de vibraciones son causadas por el viento.

Las fallas debidas a vibraciones resonantes, son las más - - destructivas y son causadas por la fatiga del material. La - mayor parte de las fallas ocurren en los puntos de soporte.

Los métodos más utilizados para disminuir el efecto de la -- vibración son los siguientes:

a).- Sustituyendo conductores de gran resistencia a la fatiga por materiales con límite de endurecimiento menores.

b).- Cambiando la forma de conductores cableados, en lugar - de un conductor sólido.

c).- Mejorando el diseño de las clemas de soporte, o colocando algunos accesorios como los siguientes:

1.- Clemas de suspensión diseñadas en tal forma que la vibración en un tramo de conductor pase a través de ellas al tramo adyacente, evitando el reflejo de la vibración en el primer tramo.

2.- Usando varillas protectoras preformadas en las clemas de suspensión, que incrementan el módulo de sección.

3.- Usando amortiguadores que absorban la energía de la vibración y que eviten las amplitudes destructivas.

## 7. CORROSION.

Es la destrucción de una sustancia, generalmente en metal, por la reacción química o electroquímica con el medio que lo rodea. Los materiales más usados para conductores eléctricos como son el cobre y el aluminio, tiene la propiedad de ser altamente resistentes a la corrosión atmosférica. En el caso del acero, aún galvanizandolo se corroe al usarse en zonas salinas o en zonas industriales, por lo que debe tratar de usarse en lugares secos o en distritos rurales.

Existen varios tipos de corrosión, pero los más frecuentes son la corrosión atmosférica y la corrosión galvánica.

### 7.1 CORROSION ATMOSFERICA.

Cuando un material se expone al medio ambiente, éste sufre la llamada corrosión atmosférica.

Observando el material más usual como el cobre y el aluminio, esta corrosión, produce una capa de óxido sobre el material, que lo - -



aisla del medio ambiente, protegiendolo y deteniendo el proceso de corrosión.

En el caso del acero, esta capa de óxido no es protectora, - por lo que la acción corrosiva continúa, invisiblemente, debajo de la primera capa, hasta la destrucción total del metal.

## 7.2 CORROSION GALVANICA.

Este es el peor tipo de corrosión y es debido a la acción -- electroquímica de metal electro-positivo cuando dos o más metales diferentes entran en contacto en presencia de un electrolito. La corrosión galvánica en zonas salinas e industria les adquiere grandes proporciones en comparación con zonas - rurales y su intensidad se desarrolla según lo indicado en - la tabla siguiente, que se explica a continuación.

### SERIE GALVANICA DE LOS METALES



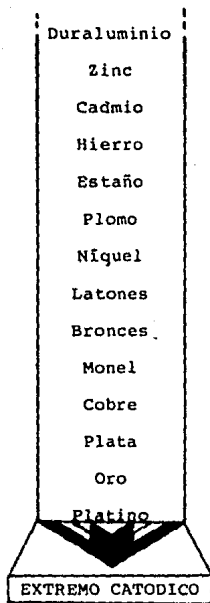


TABLA No. 16

La tabla No. 16, se constituye de tal manera que, entre dos metales cualesquiera adyacentes, se considera que no existe corrosión. Esta corrosión se torna más intensa a medida que se utilicen metales que se encuentran relativamente más alejados en sus posiciones de la tabla y en caso de haber destrucción, el metal destruido es siempre el que se encuentra

situado en la parte superior de la tabla.

Por citar un ejemplo, en caso de usarse conductores de magnesio y de platino, se tendría la máxima intensidad de corro-si n galvánica como lo muestra la tabla, destruyéndose en --este caso la pieza de magnesio. En el caso del aluminio y el cobre, siempre se destruir  la piza de aluminio.

Una manera de disminuir la corrosión galvánica es disminu --y ndo al máximo la resistencia de contacto. Como caso prác-tico se usan elementos bimetálicos y pastas anticorrosivas. Las pastas anticorrosivas sellan la conexión contra la oxi-dación y corrosión evitando que la humedad del ambiente pe--netre en la conexión. Además, estas pastas contienen part c--ulas metálicas conductoras, que cuando se presionan entre -el conductor y el conector rompen la película de óxido y ac-t an como puentes para llevar la corriente, ocupando las  --reas donde se ha roto la película de  xido.

Los métodos más comunes para prevenir la corrosión entre el aluminio y el cobre son los siguientes:

- 1.- Sellar las superficies de contacto con cromato de zinc o cualquier otro tipo de pasta anticorrosiva comercial.

2.- Recubrir las superficies de contacto con estaño, cadmio o zinc, metales que se encuentran en la serie galvánica entre el aluminio y el cobre.

3.- Insertar una placa bimetalica de cobre-aluminio entre -- las superficies de contacto, quedando unidas las superf--  
ficies del mismo metal.

4.- Soldando las dos superficies de aluminio y cobre.

El uso de las pastas selladoras es bastante confiable, pero con los elementos atmosféricos esta pasta se va destruyendo, quedando expuestas las superficies de los metales iniciándose así la destrucción de la junta, por lo que se debe hacer una revisión periódica de las juntas reponiendo la pasta en caso de que ésta ya no sirva.

En el caso de superficies recubiertas, es recomendable, además, el uso de pastas selladoras, lo que aumenta la seguridad de este método. El uso del estaño, da la resistencia de contacto más baja que cuando se usa zinc o cadmio.

Las placas bimetalicas se hacen uniendo fuertemente una placa de cobre sobre una placa de aluminio ya sea por medio de - -

soldadura a tope por el uso de algún cemento conductor.

En el uso de placas bimetálicas se debe usar también una - -  
pasta anticorrosiva.

Se recomienda que al conectar dos piezas, una de aluminio y otra de cobre, siempre deberá quedar la pieza de aluminio en la parte superior de la unión ya que de esta forma, al llover, las sales de aluminio no afectan al cobre al escurrir sobre él y en cambio si la pieza se invierte, las sales del cobre al escurrir sobre el aluminio lo van destruyendo.

## CAPITULO VI

### METODO DE CALCULO

#### 1. CLASICO

Para diseñar las barras colectoras se debe involucrar las --  
tablas y factores vistos en los capitulos anteriores.

Debemos establecer en primer lugar, el calibre mínimo de las  
barras colectoras ya sea en cable o en tubo y definir el ma-  
terial de cobre o aluminio para soportar la corriente máxima  
total, prevista para el estado final de la subestación. Este  
calibre se calcula para el conductor trabajando a una tempe-  
ratura máxima de  $30^{\circ}\text{C}$  sobre el ambiente de  $40^{\circ}\text{C}$  de acuerdo -  
con las normas NEMA.

#### 1.1 CARGAS VERTICALES EN LAS BARRAS TUBULARES.

Una vez elegido el calibre mínimo posible, se van dando in -  
crementos de diámetro de  $\frac{1}{4}$  pulgada y se empiezan a calcular  
las distancias entre soportes para las flechas máximas tole -

rables debidas a la carga vertical del conductor. Como se vió anteriormente, las flechas máximas están dadas por:

$$f = \frac{1}{150} L \quad \text{para 2 apoyos}$$

$$f = \frac{1}{200} L \quad \text{para más de 2 apoyos}$$

Con estos valores de "f" los sustituimos en la fórmula:

$$f = \frac{5W_t \cdot l^3}{384 EI} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Si el tubo está como viga continua o sea con varios apoyos - deslizantes y el central rígidamente sujeto, la flecha es de 1/5 del valor anterior. Si el tubo solo tiene dos claros y - es deslizante en los extremos, la flecha es de 2/5 del mismo valor.

Ejemplo.

Calcular los claros máximos permitidos para las flechas máximas anteriores, utilizando tubo de aluminio de 2½ pulgadas y 5 pulgadas de diámetro.

a).- Para el tubo de 2½ pulgadas de diámetro tenemos de tabla No. 7 y realizando la conversión de unidades nos queda:

$$1 \text{ Lb} = 0.4536 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ mts.}$$

$$\text{Peso unitario del tubo } W = 2.002 \text{ lb/ft}$$

$$\text{Módulo de elasticidad } E = 10 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\text{Momento de inercia } I = 1.53 \text{ pulg}^4$$

1.- Sustituyendo el valor de "f" obtenemos el claro máximo -  
para un tubo libremente apoyado.

$$\text{Sabido que la carga total es } W_t = \frac{W \times l}{12} \dots\dots (8)$$

$$\frac{l}{150} l = \frac{5W_t \cdot l^3}{384 EI}$$

Despejando l:

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times EI}{150 \times 5W} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (9)$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times 10^7 \times 1.53}{150 \times 5 \times 2.002} \right)^{1/3} = 360 \text{ pulg.}$$

$$l = 9.15 \text{ mts.}$$

=====

2.- Considerando el tubo como viga continua, con más de dos



apoyos, y usando la flecha de 2/5 se tiene:

$$\frac{1}{200} l = \frac{2 w_t l^3}{384 EI}$$

Sustituyendo valores y despejando l

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times EI}{200 \times 2 \times w} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (10)$$

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times 10^7 \times 1.53}{200 \times 2 \times 2.002} \right)^{1/3} = 445 \text{ pulg.}$$

$$l = 11.30 \text{ mts.}$$

3.- Para el tubo con solo dos claros y apoyos deslizantes en los extremos, usando la flecha de 1/5 :

$$\frac{1}{200} l = \frac{w_t \cdot l^3}{384 EI}$$

De donde :

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times EI}{200 \times w} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (11)$$

$$l = 560 \text{ pulg.} = 14.10 \text{ mts.}$$

Estas longitudes máximas entre apoyos, serían sólo considerando el peso del tubo.

b).- Para el tubo de 5 pulgadas de diámetro tenemos que:

El peso unitario del tubo  $W = 5.051 \text{ lb/ft}$

Modulo de elasticidad  $E = 10 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2$

Momento de inercia  $I = 15.16 \text{ pulg}^4$

1.- Para tubo libremente apoyado, usando la expresión (9).

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times 10^7 \times 15.16}{150 \times 5 \times 5.05} \right)^{1/3} = 570 \text{ pulg.}$$

$$l = 14.5 \text{ mts.}$$

2.- Para tubo usado como viga continua, de la ecuación (10):

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times 10^7 \times 15.16}{200 \times 2 \times 5.05} \right)^{1/3} = 700 \text{ pulg.} = 17.9 \text{ mts.}$$

3.- Para el tubo con dos claros, usando la expresión (11):

$$l = \left( \frac{384 \times 12 \times 10^7 \times 15.16}{200 \times 5.05} \right)^{1/3} = 880 \text{ pulg.} = 22.5 \text{ mts.}$$

Los seis valores anteriores nos dan los claros máximos, referidos únicamente al peso propio del tubo. En algunos casos - para amortiguar las vibraciones eólicas, se introduce un cable de calibre adecuado al diámetro del tubo, y cuyo peso -- deberá tomarse en cuenta en el cálculo de las flechas de las barras. En lugares muy fríos, a la componente vertical del -

peso anterior habría que sumarle una carga uniformemente repartida formada por la máxima acumulación de hilo sobre el tubo considerado.

## 1.2 CARGAS HORIZONTALES EN LAS BARRAS TUBULARES.

En esta parte del cálculo se consideran los esfuerzos horizontales a que están sujetas las barras y que son: Esfuerzo por circuitocorto, esfuerzo debido a la presión del viento, y el esfuerzo debido a temblores de tierra. Generalmente para el cálculo, se consideran las siguientes sumas de esfuerzos:

1.- Esfuerzo por circuitocorto + viento.

2.- Esfuerzo por circuito corto + temblor de tierra.

La mayor de estas dos componentes horizontales, se considera aplicada en "cantiliver" sobre los aisladores soporte de las barras y es la que nos limita la longitud del claro entre dos soportes continuos, de acuerdo con la resistencia del aislador que se ha seleccionado.

a).- Esfuerzo por circuitocorto.

En las subestaciones existentes de 400 KV, se ha aceptado --

hasta la fecha un circuitocorto máximo de 20,000 MVA. La - - fuerza horizontal que ocasiona este circuito es la siguiente:

Primero se obtiene el valor de la corriente de circuitocorto para ese voltaje:

$$I_{cc} = \frac{KVA_{cc}}{\sqrt{3} \cdot KV} = \frac{20 \times 10^6}{1.732 \times 400} = 29000 \text{ Amp.}$$

Después en la tabla No. 17 se dan las distancias mínimas de fase a tierra y entre fases y las distancias normales entre centros de barras colectoras, para instalaciones de 23 KV, - 85 KV, 230 KV y 400 KV, calculadas de acuerdo con los criterios de distancias mínimas de flameo y entre fases.

Es conveniente señalar que en instalaciones para tensiones - muy altas, en las que las sobretensiones transitorias producidas por la interrupción o la conexión de circuitos pueden igualar o exeder la magnitud de los impulsos debidos a rayos y en consecuencia condicionar el nivel de aislamiento, las - distancias mínimas a tierra y entre fases deberán fijarse -- tomando en cuenta ese tipo de sobretensiones.

En la tabla mencionada, se encuentra la separación normal -- entre centros de fases de buses rígidos y es de 6.50 mts.

TABLA No. 17

DISTANCIAS A TIERRA Y ENTRE FASES A TRAVES DEL AIRE A 2300 m DE ALTITUD

1	2	3	4	5	6	7
Tensión Nominal del sistema	Nivel de aislamiento al impulso a 2300 m.	Distancia mínima de no flameo a 2300 m.	Distancia mínima de fase-tierra a 2300 m.	Distancia mínima entre fases a 2300 m.	Distancia normal entre centros de buses rígidos.	Distancia normal entre centros de buses no rígidos
KV	KV	cm	cm	cm	cm	cm
23	125	25.6	28.2	32.5	50	100
85	450	107	117.7	135.4	200	250
230	90	227.9	250.7	288.4	360	450
400	1425	354.6	375.9	432.3	650	800

NOTAS: Columna 3 = valores CEI corregidos para 2300 m de altitud

Columna 4 =  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Valores de la columna 3 X 1.10 para V } 380 \text{ KV} \\ \text{Valores de la columna 3 X 1.06 para V } 380 \text{ KV} \end{array} \right.$

Columna 5 = Valores de la columna 4 X 1.15

Con los datos anteriores podemos usar la fórmula:

$$F_{cc} = 43.2 \frac{I_{cc}^2}{D} \times 10^{-7} \times l \quad \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

$F_{cc}$  = Fuerza horizontal debida a circuito-corto en lbs.

$I_{cc}$  = Corriente máxima de circuitocorto, valor efectivo en A.

D = Distancia entre conductores en pulgs.

l = Longitud del claro en pies.

Esta fórmula nos dá la fuerza máxima de circuitocorto entre fase y tierra, que es un valor mayor que en el caso trifásico, en la relación de 43.2/37.5.

b).- Esfuerzo debido al viento:

Este esfuerzo es debido a la velocidad del viento, que produce una presión en la superficie del conductor. A continuación se muestra una tabla con valores de presión sobre diversos conductores:

Donde:

P = Presión del viento en Kg/m<sup>2</sup>

v = Velocidad del viento en m/seg.

SUPERFICIE	FORMULA	PRESION (VALORES PRACTICOS)	VELOCIDAD DE VIENTO		
			pies/seg	Km/hr	m/seg
CILINDRO (TUBO)	$P=0.075 v^2$	$P=39 \text{ kg/m}^2$	75	82	22.8
CABLES	$P=0.050 v^2$	- - - - -	75	82	22.8
SUPERFICIES PLANAS	$P=0.125 v^2$	$P=60 \text{ kg/m}^2$	75	82	22.8

TABLA No. 18  
PRESIONES DEBIDAS AL VIENTO

Para el caso de tubos se usará la fórmula:

$$P = 0.075 v^2 \dots\dots\dots (13)$$

El cálculo de la fuerza en el tubo debida a la presión del viento se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_v = P \times l \times d \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

$F_v$  = Fuerza debida al viento en kg.

$P$  = Presión por viento en  $\text{kg/m}^2$

$l$  = Longitud del claro en m.

$d$  = Diámetro exterior del tubo.

Transformando la ecuación (13) al sistema ingles nos resulta:

$$P = \frac{0.075 \times 2.205}{(10.76)^2} v^2 = 1.43 \times 10^{-3} v^2 \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

P = presión del viento en lb/pie<sup>2</sup>

v = Velocidad del viento en pies/seg.

La fuerza horizontal máxima que está aplicada sobre el tubo, será la fuerza debida al cortocircuito + la fuerza debida al viento.

$$F_{\text{máx.}} = F_{\text{cc}} + F_{\text{v}} \dots\dots\dots (16)$$

Igualando la fuerza horizontal máxima de un claro con la resistencia al esfuerzo en "cantilever" del aislador soporte, aplicando un valor de seguridad de f.s. = 1.25, se calcula la longitud del claro máximo entre dos apoyos tomando en cuenta sólo los esfuerzos debidos a circuitocorto y viento.

$$F_{\text{máx.}} = \frac{R_a}{f.s.} \dots\dots\dots (17)$$



Donde:

$R_a$  = Resistencia del aislador en lb.

f.s. = Factor de seguridad.

$$F_{\text{máx.}} = \frac{R_a}{1.25} = 43.2 \frac{I_{cc}^2}{D} 10^{-7} \cdot 1 + \frac{1.43 \times 10^{-3}}{12} v^2 d.1.$$

$$\frac{R_a}{1.25} = (43.2 \times 10^{-7} \frac{I_{cc}^2}{D} + 1.19 \times 10^{-4} v^2 d) l$$

Por lo tanto obtenemos:

$$l = \frac{R_a}{1.25 (43.2 \times 10^{-7} \frac{I_{cc}^2}{D} + 1.19 \times 10^{-4} v^2 d)} \dots (18)$$

Donde:

$l$  = Longitud del claro en pies.

$I_{cc}$  = Corriente máxima de circuitocorto, valor efectivo en Amperes.

$D$  = Distancia entre conductores en pulgs.

$d$  = Diámetro exterior del tubo en pulgs.

$v$  = Velocidad del viento en pies/seg.

$R_a$  = Resistencia del aislador en "cantilever", en lbs.

Ejemplo:

Calcular el claro máximo de un tubo de 5 pulgadas de diámetro, considerando esfuerzos de circuitocorto y viento, con los siguientes datos: (S.E. Sta. Cruz).

Corriente de circuitocorto  $I_{cc} = 29000$  Amps.

Distancia entre conductores  $D = 6.5$  m.

Diámetro exterior del tubo  $d = 5.00$  pulgs.

Velocidad del viento  $v = 75$  pies/seg.

Resistencia del aislador  $R_a = 970$  lbs.

$$l = \frac{970}{1.25 (43.2 \times 10^{-7} \frac{(29000)^2}{650/2.54} + 1.19 \times 10^{-4} (75)^2 \times 5)}$$

$$l = \frac{970}{1.25 (14.2 + 3.34)} = 44.4 \text{ pies}$$

$$l = 44.4 \times 0.304 = 13.5 \text{ mts.}$$

Ahora, la fuerza  $F'_{cc}$  debida a circuitocorto por unidad de longitud es:

De acuerdo con la expresión (12) tenemos:

$$F_{cc} = 43.2 \frac{I_{cc}^2}{D} \times 10^{-7} \cdot l \quad \text{lbs.}$$

Y por unidad de longitud:

$$F'_{cc} = 43.2 \frac{I_{cc}^2}{D} \times 10^{-7} \text{ lb/pie}$$

Sustituyendo valores resulta:

$$F'_{cc} = 43.2 \frac{(29 \times 10^3)^2}{650/2.54} \times 10^{-7} = 43.2 \times 0.3286$$

$$F'_{cc} = 14.197 \text{ lb/pie}$$

La fuerza  $P'$  debida al viento por unidad de longitud es, de acuerdo con la expresión 15:

$$P' = 1.43 \times 10^{-3} (v^2) \times d$$

sustituyendo valores:

$$P' = 1.43 \times 10^{-3} (75)^2 \times 5/12 = 3.35 \text{ lb/pie}$$

c).- Esfuerzo debido a temblor.

Para el caso de considerar el esfuerzo debido a temblor de tierra, se considera según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, un empuje lateral máximo de 0.2 - (de la aceleración de la gravedad  $g$ ), lo que se traduce en

multiplicar el peso unitario del tubo por un factor de 0.2 para obtener la fuerza debida a temblor, por unidad de longitud de la barra.

Para el caso del ejemplo anterior, considerando un tubo de 5 pulgadas de diámetro y con peso unitario de 5.05 lb/pie, la fuerza debida a temblor por unidad de longitud será la siguiente:

$$f_t = 5.05 \times 0.2 = 1.01 \text{ lb/pie.}$$

Este valor es menor que la fuerza debida al viento por unidad de longitud de 3.34 lb/pie encontrada en el ejemplo anterior, por lo que para objeto de cálculo, basta solo con considerar los esfuerzos debidos a circuitocorto más los debidos al viento.

## 2. MECANIZACION DEL CALCULO POR COMPUTADORA.

El cálculo de barras colectoras se puede efectuar también por medio de una computadora. Con este método es posible tomar en cuenta un mayor número de datos y obtener un mayor número de alternativas con mayor rapidez que haciendolo en forma normal.

Para el diseño de barras colectoras de tubo, se parte de un programa basado en obtener a partir de una variedad muy amplia de condiciones, las capacidades de potencia y corriente de circuitocorto que pueden soportar las barras para cada una de esas condiciones. Las diferentes variables que se utilizan para el cálculo son las siguientes: resistencia de los aisladores y de los tubos, diámetro y peso unitario de los tubos, condiciones atmosféricas, como son: el viento y hielo, resistencia de las uniones de tubos ya sean soldadas o remachadas, separación entre apoyos, separación entre fases, altura de los aisladores y niveles de voltaje. La variedad de condiciones está definida por el número de valores que se le dan a cada variable del programa, o generando varias condiciones por medio de incrementos en algunas variables como son separación entre fases y longitudes de claros.

Usando el teorema de los tres momentos para un tubo, considerado como una viga continua uniformemente cargada, el programa calcula las cargas en los aisladores soporte así como la localización de los puntos de inflexión para determinar el lugar donde deben efectuarse los empalmes de los tubos.

El programa permite calcular las capacidades de circuitocor<sub>o</sub> máximas en MVA que soportan los aisladores y los tubos - variando los valores de las resistencias en cantiliver de - los mismos, y usando diferentes longitudes de tubo de alu - minio.

Los datos que requiere el programa son los siguientes:

Peso unitario del tubo.

Distancia mínima entre fases.

Número de incremento para la distancia entre fases.

Velocidad del viento sin hielo.

Velocidad del viento con hielo.

Diámetro exterior del tubo.

Resistencia de la soldadura.

Resistencia de la junta remachada.

Módulo de sección del tubo.

Voltaje de operación.

Longitud del claro.

Módulo de elasticidad del material del tubo.

Momento de inercia de la sección del tubo.

Longitud del incremento en la distancia entre fases.

Número de aisladores diferentes que se prueban en el dise - ño.

Resistencia máxima del aislador.

Altura del aislador.

La secuencia del programa es la siguiente:

a).- Cálculo de los momentos de la barra.

1).- Lee todos los juegos de datos que se le proporcionen - para calcular varias alternativas.

2).- Obtiene los momentos en la barra, usando un método matricial que incluye la inversión y el producto de las matrices y escribe el momento vertical en cada soporte.

3).- Construye y resuelve juegos de ecuaciones de segundo grado para encontrar los puntos de inflexión y escribe la localización de estos puntos.

4).- Por medio del momento vertical máximo, encuentra y escribe el momento horizontal de la viga.

b).- Cálculo de las capacidades máximas de circuitocorto en MVA y amperes para los diferentes tipos de aisladores, haciendo variar las resistencias en "cantilever" de --

los mismos.

- 1).- Utilizando el primer tipo de aislador, calcula las capacidades máximas de circuitocorto en MVA y amperes -- que puede soportar el tubo, dando varias soluciones -- para diferentes distancias entre fases. Este cálculo - lo realiza para condiciones de carga, hielo y viento,- después para viento únicamente, tomando en cuenta que se usen juntas soldadas y juntas remachadas.
- 2).- Al hacer este cálculo, revisa si la resistencia de la junta (soldada o remachada), es compatible con los esfuerzos a los que está sometido este tipo de tubo, en caso de no ser compatible, escribe una nota indicando que esta combinación de tubo y junta no se pueden usar.
- 3).- Calcula las deflexiones del tubo y escribe la defle -- xión máxima bajo la condición máxima de carga.
- 4).- Realiza el cálculo de las capacidades máximas en MVA y amperes que pueden soportar este tipo de aislador, - - dando varias alternativas de distancias entre fases y bajo condiciones atmosféricas de viento con hielo y de viento únicamente.



5).- Inicia otra secuencia de cálculos para otro tipo de --  
aislador, hasta terminar con todos los tipos.

Inicia otra secuencia de cálculos pero para otro tipo o di-  
mensión de tubo, repitiendo todos los cálculos anteriores.

Una vez teniendo todas las alternativas posibles y usando -  
varios tipos de aisladores y tubos, se toma la decisión más  
conveniente para las condiciones que se requieran en al - -  
subestación.

## RESULTADOS

Como resultado del cálculo de barras colectoras tubulares, usando un programa de computadora, se obtienen las características de capacidad máxima de circuito corto de tubos y aisladores en los voltajes más usados en las subestaciones, como son 85, 230 y 400 KV.

### 1. BARRAS DE 85 KV.

#### 1.1 Consideraciones:

Para el estudio se consideraron los siguientes parámetros:

Diámetros de los tubos:	2", 2½ y 3"
Separaciones entre fases:	2.5, 3.0 y 3.5 mts.
Separaciones entre soportes:	2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 mts.
Carga de ruptura en cantilever de los aisladores:	816 Kg (1800 lb).
Velocidad del viento:	80 Km/hr.

No se consideró carga de hielo.

Se consideró la carga del cable amortiguador con un peso -- equivalente a un cable ACSR 336 MCM.

1.2 Resultados.

Descripción.	Separación entre fases. (m)	Separación entre soportes.			
		2.5 m	5.0 m	7.5 m	10.0 m
Tubo de 2" $\varnothing$	2.5	7994	3895	2463	1669
	3.0	8772	4274	2703	1831
	3.5	9486	4622	2923	1980
Aisladores 816 kg.	2.5	11550	8136	6617	5708
	3.0	12674	8928	7261	6264
	3.5	13707	9655	7853	6774
Tubo de 2½" $\varnothing$	2.5	11049	5437	3514	2496
	3.0	12124	5966	3856	2738
	3.5	13112	6452	4170	2962
Aisladores 816 kg	2.5	11484	8082	6567	5658
	3.0	12601	8868	7206	6209
	3.5	13627	9591	7792	6714
Tubo de 3" $\varnothing$	2.5	14078	6957	4537	3281
	3.0	15448	7634	4979	3600
	3.5	16706	8255	5384	3893
Aisladores 816 kg	2.5	11402	8015	6504	5597
	3.0	12512	8795	7137	6141
	3.5	13531	9511	7718	6641

TABLA No. 19

MVA MAXIMOS DE CIRCUITOCORTO PARA BARRAS DE  
85 KV

En la tabla anterior (No. 19), se muestran las capacidades de circuitocorto de tubos y aisladores.

Notas:

- 1.- El tubo de 2"  $\emptyset$  con separación entre soportes de 10 mt. tiene flecha mayor de 1/200 del claro.
- 2.- El tubo de 2½"  $\emptyset$  con separación entre soportes de 10 m. tiene flecha mayor de 1/200 del claro.

1.3 Selección del material y distancias:

Para una capacidad máxima de circuito corto de 5000 MVA y una distancia normal entre fases de 3 metros, el diámetro mínimo del tubo es de 2½"  $\emptyset$  con separación máxima entre soportes de 5 metros.

Las columnas de aisladores con resistencia de 816 kg o equivalentes en características mecánicas, con tubo de 2½"  $\emptyset$  y separación entre soportes de 5 metros, permiten una capacidad de circuitocorto de 8000 MVA.

Para coordinar la capacidad de circuitocorto entre tubo y -  
aisladores se puede utilizar tubo de 3" de diámetro con lo\_  
cual resulta para el conjunto tubo-aisladores una capacidad  
de circuitocorto de 7500 MVA, que está en concordancia con  
la capacidad de los interruptores de 85 KV.

## 2. BARRAS DE 230 KV.

### 2.1 Consideraciones:

Para el estudio se consideraron los siguientes parámetros:

Diámetro de los tubos:	2", 2½", 3", 4", 5" y 6".
Separaciones entre fases:	4.0, 4.5, 5.0, 5.5 y 6.0 m.
Separaciones entre soportes:	5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, - 17.0 y 20.0 m.
Cargas de ruptura en "canti- lever" de los aisladores.	607 kg (1340 lb).
Velocidad del viento:	80 km/hr.

No se consideró carga de hielo.

Se consideró la carga del cable amortiguador con un peso --  
equivalente a un cable ACSR 336 MCM.

## 2.2 Resultados.

- TABLA No. 20 -

MVA MAXIMOS DE CIRCUITOCORTO PARA BARRAS DE  
230 KV

DESCRIPCION	Separación entre fases (m)	Separación entre soportes			
		5.0 m	7.5 m	10.0 m	12.5 m
Tubo de 2" Ø	4.0	13341	8438	5716	
	4.5	14165	8960	6069	
	5.0	14944	9452	6402	Nota 1
	5.5	15685	9921	6720	
	6.0	16392	10368	7023	
Aisladores 607 kg	4.0	24298	19736	17001	
	4.5	25799	20956	18051	
	5.0	27217	22108	19044	Nota 1
	5.5	28566	23203	19987	
	6.0	29853	24249	20888	
Tubo de 2½" Ø	4.0	18622	12036	8548	6024
	4.5	19773	12780	9076	6587
	5.0	20860	13483	9576	6949
	5.5	21893	14151	10050	7294
	6.0	22880	14788	10503	7622
Aisladores 607 kg	4.0	24185	19618	16874	14985
	4.5	25679	20830	17916	15910
	5.0	27091	21975	18901	16785
	5.5	28433	23064	19838	17617
	6.0	29714	24103	20732	18411
Tubo de 3" Ø	4.0	23827	15541	11238	8471
	4.5	25300	16501	11932	8995
	5.0	26691	17408	12588	9489
	5.5	28013	18270	13212	9959
	6.0	29275	19094	13807	10408

Continúa en la siguiente página.

. . . Continuación de la tabla No. 20.

DESCRIPCION	Separación entre fases (m)	Separación entre soportes			
		5.0 m	7.5 m	10.0 m	12.5 m
Aisladores 607 kg	4.0	24045	19472	16717	14815
	4.5	25531	20675	17750	15731
	5.0	26935	21812	18726	16596
	5.5	28269	22893	19654	17418
	6.0	29543	23924	20540	18203

En la tabla No. 20 se muestran las capacidades de circuito-corto de tubos y aisladores.

Notas:

1.- El tubo de 2" de diámetro, por sus características mecánicas, no es adecuado para el diseño debido a que se encuentran números imaginarios en los cálculos.

2.- Los tubos de 2" y 2½" de diámetro con separación entre soportes de 10 metros tienen flechas mayores de 1/200 de sus claros.

3.- Los tubos de 2½" y 3" de diámetro con separación entre soportes de 12.50 metros tienen flechas mayores de 1/200 de sus claros.

### 2.3. Selección del material y distancias.

Para una capacidad máxima de cortocircuito de 15000 MVA y distancia normal entre fases de 4.50 metros, el diámetro mínimo del tubo es de 2½" con separación máxima entre soportes de 6 metros.

Para las mismas características anteriores pero con diámetro de tubo de 5" la separación máxima entre soportes es de 12.50 metros.

Las columnas de aisladores con resistencia de 607 Kg, con tubo de 2½" de diámetro y separación máxima entre soportes de 6 metros, permiten una capacidad de cortocircuito de 23500 MVA.

Las mismas columnas de aisladores con tubo de 5" de diámetro y separación entre soportes de 12 metros permiten una capacidad de cortocircuito de 15052 MVA.



Estos últimos valores están más próximos a la capacidad de cortocircuito de los interruptores de 230 KV.

### 3. BARRAS DE 400 KV.

#### 3.1. Consideraciones.

Para el estudio se consideran los siguientes parámetros:

Diámetros de los tubos: 2½", 5" y 6".  
Separación entre fases: 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 y 8.0.  
Separación entre soportes: 5, 10, 15 y 20 m.  
Carga de ruptura en "cantilever" de los aisladores: 607 kg (1340 lb).  
Velocidad del viento: 80 km/hr.  
No se consideró carga de hielo.

Se consideró la carga del cable amortiguador con un peso -- equivalente a un cable ACSR 336 MCM.

#### 3.2. RESULTADOS.

La tabla No. 21 muestra las capacidades de circuito-corto de tubos y aisladores.

TABLA No. 21

DESCRIPCION	Separación entre fases (m)	Separación entre soportes			
		5.0 m	10.0 m	15.0 m	20.0 m
Tubo de 2½" Ø	6.0	39791	18266		
	6.5	41436	19021		
	7.0	43018	19748	Nota 1	Nota 1
	7.5	44544	20448		
	8.0	46020	21125		
Aisladores 607 kg	6.0	51901	36216		
	6.5	54047	37714		
	7.0	56110	39154	Nota 1	Nota 1
	7.5	58101	40542		
	8.0	60025	41885		
Tubo de 5" Ø	6.0	91235	44452	28016	18648
	6.5	95007	46289	29174	19419
	7.0	98634	48057	30288	20161
	7.5	102133	49762	31362	20876
	8.0	105516	51410	32401	21567
Aisladores 607 kg	6.0	50783	34813	27366	22615
	6.5	52882	36252	28497	23550
	7.0	54901	37636	29585	24449
	7.5	56849	38971	30635	25317
	8.0	58732	40262	31649	26155
Tubo de 6" Ø	6.0	114108	55967	35852	24882
	6.5	118826	58281	37334	25910
	7.0	123363	60506	38760	26900
	7.5	127738	62652	40134	27854
	8.0	131969	64727	41464	28776
Continúa en la siguiente página.					

MVA MAXIMOS DE CIRCUITOCORTO PARA BARRAS DE  
400 KV

... Continuación de la tabla No. 21.

MVA MAXIMOS DE CIRCUITOCORTO PARA BARRAS DE  
400 KV

DESCRIPCION	Separación entre fases (3)	Separación entre soportes			
		5.0 m	10.0 m	15.0 m	20.0 m
Aisladores	6.0	50307	34151	26441	21338
607 kg	6.5	52386	35562	27534	22220
	7.0	54386	36920	28585	23069
	7.5	56216	38230	29599	23887
	8.0	58381	39496	30580	24578

Notas:

- 1.- El tubo de 2½" de diámetro, por sus características mecánicas, no es adecuado para el diseño debido a que se encuentran números imaginarios en los cálculos.
- 2.- El tubo de 2½" de diámetro, con separación entre soportes de 10.0 mts., tiene flecha mayor de 1/200 del claro.
- 3.- Los tubos de 5" y 6" de diámetro con separación entre soportes de 20.0 mts., tiene flechas mayores de 1/200 de sus claros. Con separación de 15.0 mts., las flechas son menores de 1/200 de sus claros.

4.- El tubo de 5" de diámetro puede tener separaciones entre soportes hasta de 15 metros con flecha menor de 1/200 de su claro y capacidad de circuitocorto de 20000 MVA.

### 3.3. SELECCION DEL MATERIAL Y DISTANCIAS.

Para una capacidad máxima de circuitocorto de 20000 MVA, -- las separaciones máximas entre soportes que admiten los tubos considerados son las siguientes:

a).- Con separación normal entre fases de 6.5 metros.

Tubo de 5"  $\phi$ : 15 metros.

Tubo de 6"  $\phi$ : 17.5 metros.

b).- Con separación normal entre fases de 8 metros.

Tubo de 2½"  $\phi$ : 9 metros.

## CONCLUSIONES.

De acuerdo a los cálculos anteriores y tomando en consideración los valores de las capacidades de circuitocorto máximas en los diferentes voltajes, se seleccionaron los siguientes materiales:

### BARRAS DE 85 KV

- 1.- Tubo de 2½" de diámetro.
- 2.- Carga mínima de ruptura en "cantilever" de los aisladores:

816 kg (1800 lb)

- 3.- Separación máxima entre soportes:

5 metros.

- 4.- Capacidad máxima de circuitocorto:

5000 MVA

### BARRAS DE 230 KV

Se usan dos diámetros de tubo, de 2½" y de 5".

- 1.- Tubo de 2½" de diámetro.
- 2.- Carga mínima de ruptura en "cantilever" de los aisladores:

607 kg (1340 lb).

3.- Separación máxima entre soportes:

6 metros.

4.- Capacidad máxima de circuitocorto:

15000 MVA.

5.- Para el tubo de 5", con el mismo tipo de aisladores - -

Carga mínima de ruptura en "cantilever":

607 kg (1340 lb)

Y con la misma capacidad máxima de circuitocorto:

15000 MVA

La separación máxima entre soportes es de:

15 metros.

#### BARRAS DE 400 KV

1.- Tubo 2½" de diámetro.

2.- Tubo 5" de diámetro.

3.- Carga mínima de ruptura en "cantilever" de los aisladores:

607 kg (1340 lb)

4.- Separación máxima entre soportes:

Para tubo de 2½" Ø: 9 metros

Para tubo de 5" Ø: 15 metros.

5.- Capacidad máxima de circuitocorto:

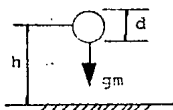
20000 MVA .

La desición para utilizar tubo de 2½" de diámetro en las --  
barras de 85 y 230 KV, se tomó en base a la tendencia de --  
limitar el circuitocorto en estas tensiones, abriendo los -  
anillos correspondientes.

APENDICE

RADIO INTERFERENCIA

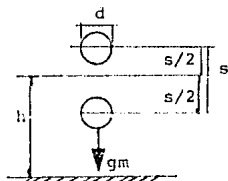
Ecuaciones para el máximo gradiente unitario superficial, de acuerdo con las diferentes configuraciones indicadas a continuación. (Las flechas indican la dirección en la que el gradiente de superficie es máximo).



$$P_{11} = 2 \text{Ln} \frac{4h}{d}$$

$$Q = \frac{1}{P_{11}}$$

$$g_m = \frac{4}{d} Q = \frac{2}{d \text{Ln} \left( \frac{4h}{d} \right)}$$



$$P_{11} = 2 \text{Ln} \frac{4 \left( h + \frac{s}{2} \right)}{d}$$

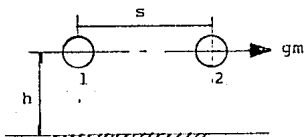
$$P_{22} = 2 \text{Ln} \frac{4 \left( h - \frac{s}{2} \right)}{d}$$

$$P_{12} = 2 \text{Ln} \frac{2h}{s}$$

$$Q_1 = \frac{P_{22} - P_{12}}{P_{11} P_{22} - P_{12}^2} \dots (1)$$

$$Q_2 = \frac{P_{11} - P_{12}}{P_{11} P_{22} - P_{12}^2} \dots (2)$$

$$g_m = \frac{4}{s} Q_1 + \frac{4}{d} Q_2$$

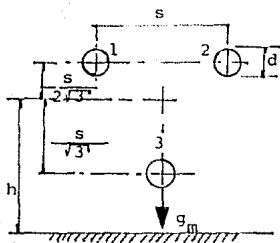


$$P_{11} = 2 \text{Ln} \frac{4h}{d}, \quad P_{12} = 2 \text{Ln} \frac{2h}{s}$$

$$Q = \frac{1}{P_{11} + P_{12}}$$

$$g_m = 4 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{d} \right) Q$$





$$P_{11} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h + \frac{s}{2\sqrt{3}})}{d}$$

$$P_{33} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h - \frac{s}{2\sqrt{3}})}{d}$$

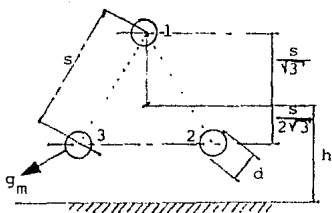
$$P_{12} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h + \frac{s}{2\sqrt{3}})}{s}$$

$$P_{13} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h - \frac{s}{4\sqrt{3}})}{s}$$

$$Q_1 = \frac{P_{33} - P_{12}}{P_{33}(P_{11} + P_{12}) - 2P_{13}^2}$$

$$Q_3 = \frac{P_{11} + P_{12} - 2P_{13}}{P_{33}(P_{11} + P_{12}) - 2P_{13}^2}$$

$$g_m = \frac{4\sqrt{3}}{s} Q_1 + \frac{4}{d} Q_3$$



$$P_{11} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h + \frac{s}{\sqrt{3}})}{d}$$

$$P_{22} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h - \frac{s}{2\sqrt{3}})}{d}$$

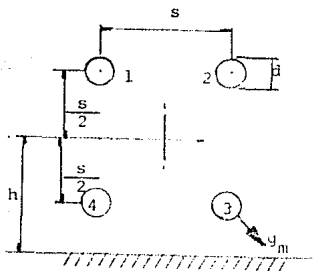
$$P_{12} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h + \frac{s}{4\sqrt{3}})}{s}$$

$$P_{23} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h - \frac{s}{2\sqrt{3}})}{s}$$

$$Q_1 = \frac{P_{22} + P_{23} - P_{12}}{P_{11}(P_{22} + P_{23}) - P_{12}^2}$$

$$Q_2 = \frac{P_{11} - P_{12}}{P_{11}(P_{22} + P_{23}) - 2P_{12}^2}$$

$$g_m = \frac{2\sqrt{3}}{s} Q_1 + (\frac{2\sqrt{3}}{s} + \frac{4}{d}) Q_2$$



$$P_{11} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h + \frac{s}{2})}{d}$$

$$P_{33} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h - \frac{s}{2})}{d}$$

$$P_{12} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h + \frac{s}{2})}{s}$$

$$P_{13} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2h}{\sqrt{2} \cdot s}$$

$$P_{14} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2h}{s}$$

$$P_{34} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h - \frac{s}{2})}{s}$$

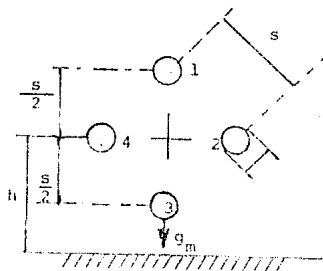
$$A = P_{11} + P_{12}$$

$$B = P_{33} + P_{34}$$

$$C = P_{12} + P_{14}$$

$$Q_1 = \frac{B - C}{AB - C^2}$$

$$Q_2 = \frac{A - C}{AB - C^2}$$



$$P'_{11} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h + \frac{s}{\sqrt{2}})}{d}$$

$$P'_{22} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4h}{d}$$

$$P'_{33} = 2 \operatorname{Ln} \frac{4(h - \frac{s}{\sqrt{2}})}{d}$$

$$P'_{12} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h + \frac{s}{2\sqrt{2}})}{s}$$

$$P'_{13} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2h}{\sqrt{2} \cdot s}$$

$$P'_{23} = 2 \operatorname{Ln} \frac{2(h - \frac{s}{2\sqrt{2}})}{s}$$

$$N_1 = (P'_{22} + P'_{13})(P'_{33} - P'_{12}) + 2P'_{23} \times \\ \times (P'_{13} - P'_{23}) + 2P'_{12}(P'_{23} - P'_{33})$$

$$N_2 = P'_{22}(P'_{11} - P'_{12}) + P'_{23}(P'_{13} - P'_{11}) + \\ + P'_{13}(P'_{12} - P'_{13})$$

$$N_3 = (P'_{22} + P'_{13})(P'_{11} - P'_{13}) + 2P'_{23} \times \\ \times (P'_{12} - P'_{11}) + 2P'_{12}(P'_{13} - P'_{12})$$

$$D = (P'_{11}P'_{33} - P'_{13}{}^2)(P'_{22} + P'_{13}) + 4P'_{12} \times \\ \times P'_{13}P'_{23} - 2P'_{11}P'_{23}{}^2 - 2P'_{33}P'_{12}{}^2$$

$$g_m = \frac{4\sqrt{2}^1}{s} Q_1 + \left(\frac{2\sqrt{2}^1}{s} + \frac{4}{d}\right) Q_2$$

$$Q_1 = \frac{N_1}{D}$$

$$Q_2 = \frac{N_2}{D}$$

$$Q_3 = \frac{N_3}{D}$$

$$g_m = \frac{2\sqrt{2}^1}{s} Q_1 + \frac{4\sqrt{2}^1}{s} Q_2 + \frac{4}{d} Q_3$$

Descripción de la NOMENCLATURA, para las fórmulas mencionadas

d = Diámetro del conductor en pulgadas.

h = Altura del centro del haz de cables al suelo en pulgadas

s = Separación entre cables del haz, en pulgadas.

P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub>, etc. = Coeficientes de potencial de Maxwell.

Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, etc. = Cargas por unidad de longitud y por unidad de voltaje del conductor.

g<sub>m</sub> = Máximo gradiente por unidad de superficie del conductor o haz en KV/PULG/KV.

Como ejemplo ilustrativo, Determinaremos si un cable de 4/0\_ AWG, en un sistema trifásico con 161 KV, produce un nivel de señal de ruido seguro.

Solución: ver capítulo V, de la sección 2.1, en las paginas -

## BIBLIOGRAFIA

Reunión Conjunta sobre la Ciencia e Ingeniería  
de los Materiales -Seminario sobre Aislamien-  
tos Eléctricos-

agosto 1970

Introducción a la Mecánica de Sólidos

Egor P. Popov

Editorial Limusa

México

1980.

Electrical Connectors

Catalog 50

Burndy Corp.

1960

U.S.A.

Mecanical Design of Busses (IBM 360/50 program)

Consumers Power Co.

Jackson, Mich.

Conductor Sizing for Radio Noise Characteristic.

R.C. Harszy

Agosto 1968

Redes Electricas Tomo I

J. Viqueira L.

Rep. de Servicios de Ingeniería

México 1970.