



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" REVISION DEL ESTADO DEL ARTE EN AISLADORES
FABRICADOS CON POLIESTER Y VIABILIDAD
DE SU FABRICACION NACIONAL "

TESIS PROFESIONAL
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA
AREA INDUSTRIAL

RODOLFO ARTURO ESPINO IZAGUIRRE

DIR. ING. LUIS P. GRIJALVA LOPEZ

MEXICO, D.F.

FEBRERO, 1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

1.- Introducción	... 1
2.- Características Principales de un Aislador	... 8
3.- Ventajas de Fabricación y Diseño de Aisladores Sintéticos con Respecto a Aisladores de Porcelana	...10
3.1.- <u>proceso de fabricación de aisladores de porcelana</u>	...10
3.2.- <u>proceso de fabricación de aisladores sintéticos</u>	...15
3.2.1.- pultrusión	...15
3.2.2.- inyección de moldes	...17
4.- Ensayos de Recepción de los Aisladores	...25
4.1.- <u>Descripción de las pruebas Mecánicas y Eléctricas</u>	...23
4.2.- <u>Resultados de las pruebas Mecánicas y Eléctricas</u>	...34
4.2.1.- origen y fundamentos	...34
4.2.2.- resultados de estudios normalizados	...38
4.2.3.- resultados de estudios en México	...41

4.3.- <u>Descripción de la Prueba de</u> <u>Contaminación</u>	...56
4.3.1.- resultados de estudios en México	...69
4.4.- <u>Prueba de Tracking</u>	...69
5.- Viabilidad de su Fabricación Nacional	...73
6.- Conclusiones	...83
Referencias	...85

1.- I n t r o d u c c i ó n

LA ENERGIA Y SU IMPORTANCIA EN LA EVOLUCION DE LA CIVILIZACION.

Difícil ha sido siempre la tarea de definir algo como la energía que, siendo omnipresente es tan elusiva a los sentidos. Quizá esa haya sido la causa de que la definición más breve y común sea la que establece que la energía es todo aquello capaz de producir o realizar algún trabajo, lo cual en última instancia no es sino la expresión de una fórmula física.

La evolución de la humanidad ha estado indisolublemente ligada a la utilización de la energía en sus distintas formas.

Sin lugar a dudas, el descubrimiento del fuego y de la forma de producirlo y controlarlo marca el primer acontecimiento importante en la historia de la civilización, que al correr de los siglos ha experimentado avances acelerados, cada vez que el hombre ha encontrado alguna nueva fuente de energía o descubierto algún procedimiento para aprovecharla.

La utilización de la fuerza de tracción de los animales permitió la aparición de la agricultura; fue así como algunos pueblos nómadas se asentaron, y se establecieron así las bases para el surgimiento de las antiguas culturas.

El aprovechamiento de la energía del viento mediante la invención de la vela, dio un fuerte impulso a la navegación, intensificando el comercio y el intercambio de ideas y conocimientos entre los pueblos de la antigüedad.

La utilización de la energía cinética de las corrientes de agua gracias a la rueda hidráulica, liberó al hombre de una gran cantidad de tareas que implicaban un gran esfuerzo físico, dando lugar a la aparición de los primeros talleres y fábricas, remotos antecesores de las modernas plantas industriales.

La invención del motor de vapor marcó la transición de la producción masiva, dando origen a una verdadera revolución social y económica que caracterizó al siglo diecinueve.

Llegamos así a la época contemporánea, cuyos enormes avances han sido posibles, fundamentalmente, por la utilización de la energía eléctrica y, más recientemente, por el empleo de la energía nuclear.

FUENTES NATURALES Y FORMAS DE ENERGIA

A. Energía térmica o calorífica.

Desde luego, la más importante fuente de energía de este tipo es el sol. Si todos los combustibles disponibles en el mundo se quemaran para proporcionar a la tierra el calor que diariamente recibe de este astro, apenas si bastarían para hacerlo durante cuatro días.

Resulta paradójico, que habiendo sido la energía solar la primera forma de energía con la que el hombre trabajó conocimiento no se hayan desarrollado hasta ahora tecnologías adecuadas, que permitan, mediante su utilización masiva, la substitución de otras formas de energía actualmente en uso.

Los combustibles, cuya energía en última instancia es producto de la energía solar, siguen al sol en orden de importancia como fuentes de energía térmica, que liberan al --

quemarse. Haciendo caso omiso de una gran cantidad de --- substancias que presentan esta particularidad mencionaremos unicamente el carbón, el gas natural y el petróleo.

A pesar de que históricamente fue el carbón el primero en ser empleado por el hombre, son el petróleo y el gas natural los que, como consecuencia de una utilización exhaustiva, se encuentran en vías de desaparecer, ya que las reservas que se tienen detectadas, apenas si garantizan su -- disponibilidad hasta los primeros veinticinco años del si-- glo venidero, tomando en cuenta las tasas actuales de incremento de consumo.

La más moderna fuente de energía térmica es el núcleo_ del átomo. Partiendo de las teorías de Einstein, que a - principios del siglo postuló que todo en el universo es energía, que energía y materia son la misma cosa y que entre ambas existe una relación definida que puede expresarse en la fórmula $E = m c^2$ (en la que E es la energía correspondiente a la masa m y c es la velocidad de la luz). Un numeroso y selecto grupo de hombres de ciencia llevaron a cabo los experimentos que culminaron con la fisión o ruptura de los - núcleos de átomos de uranio 235, operación en la cual una pequeña parte de la materia se transforma en energía térmica, corroborando así las teorías de Einstein.

Gracias a esta propiedad, el hombre dispone ahora de - una fuente importante de esta energía, que le permitirá - - substituir en el corto plazo el déficit que se presentará - en breve por la falta de petróleo y del gas natural.

B. Energía mecánica.

Para identificarla de manera simple, mencionaremos que la energía mecánica es la energía de los cuerpos en movimiento

to. Su fuente natural por excelencia es la fuerza de gravedad o atracción terrestre, que hace que cualquier objeto colocado por encima de cierto nivel de referencia, almacene energía mecánica potencial, que se manifiesta en el momento de soltar el objeto, mediante el movimiento del mismo.

El hombre venido aprovechando este fenómeno desde hace siglos, resando las corrientes de agua para acumular energía. El agua así almacenada es posteriormente extraída: interponiendo en el paso de la corriente las aspas de una rueda, se consigue que el agua haga girar a la misma, y se obtenga así la energía mecánica utilizable.

Otra fuente natural de energía mecánica es el viento que, independientemente de su empleo en la navegación a vela, se ha utilizado de tiempo atrás para mover los molinos de viento.

La tercera fuente natural importante de esta clase de energía es el mar aún cuando en este caso la energía mecánica del movimiento de las aguas es consecuencia de la fuerza de la gravedad o del viento, según se trate de las mareas o del oleaje respectivamente.

C. Energía eléctrica.

Esta importantísima forma de la energía también se encuentra en la naturaleza, siendo las descargas atmosféricas o rayos su manifestación mas espectacular y común. Desafortunadamente, no es posible aprovecharla partiendo de esta fente natural.

LA PRODUCCION DE LA ENERGIA ELECTRICA

Gracias a que la producción de energía eléctrica resulta relativamente simple, el hombre ha contado desde fines -- del siglo pasado con este insustituible aliado, con cuyo -- auxilio le ha sido posible alcanzar los niveles de desarro-- llo que caracterizan a nuestra civilización.

En efecto, para producir energía eléctrica, bastará --- con mover una serie de espiras de cobre, o bobina, en el se-- no del campo magnético producido por un imán. En tales -- condiciones, en las terminales o puntas de la bobina se ge-- nerará un voltaje y, si conectamos a ellas una bombilla eléc-- trica, veremos que su filamento se pone incandescente debido al paso de una corriente de electrones.

Al conjunto del campo magnético y la bobina se le deno-- mina generador y no es otra cosa que una máquina que trans-- forma la energía mecánica utilizando en el movimiento de la_ bobina, en energía eléctrica.

De acuerdo a lo anterior, para producir energía eléctri_ ca es necesario disponer de un generador y de suficiente - - energía mecánica para moverlo, de donde se desprende que las fuentes de energía mecánica son también fuentes de energía - eléctrica, si se cuenta con el generador para llevar a cabo_ la transformación.

Utilizando este principio, el hombre ha podido obtener_ desde hace tiempo, gran parte de la electricidad que requie-- re empleando el agua almacenada en grandes presas para mover ciertas ruedas provistas de aspas llamadas turbinas hidráu--

licas, las cuales a su vez dan movimiento a los generadores. Las centrales de este tipo se conocen como centrales hidroeléctricas y en nuestro país suministran aproximadamente el 40% de la energía eléctrica consumida.

El descubrimiento de que el vapor de agua podía también mover una rueda de aspas, incrementó de manera decisiva las posibilidades de generar energía eléctrica, sin más límite - que el de la posibilidad de obtener energía térmica necesaria para producir el vapor.

En la actualidad, las centrales termoeléctricas (así se denominan a las que utilizan este procedimiento), suministran la mayor parte de la energía eléctrica consumida; en México proporcionan alrededor del 60% de dicha energía¹.

DISTRIBUCION DE LA ENERGIA ELECTRICA

El objeto de las redes eléctricas es la distribución en los poblados, de la energía procedente de las centrales productoras, que pueden estar emplazadas en el mismo lugar de utilización, o en otros muy distantes en cuyo caso es conducida hasta el centro consumidor por largas líneas de transporte.

Las líneas distribuidoras se trazan por las calles de la población para acometer en corta distancia los edificios a los que haya que suministrar la energía. El conjunto de las distintas líneas unidas entre sí forman un sistema de -- mallas o redes, y de aquí su nombre de redes de distribución, que pueden ser de alta o de baja tensión. Las primeras son las que conducen la energía en alto voltaje a los puntos de

alimentación, donde se transforma para ser utilizada en las redes de baja tensión.

Aisladores

Los conductores se montan en los apoyos por medio de aisladores fabricados con porcelana, vidrio y materiales sintéticos. Los primeros son los más empleados, aunque en las líneas de distribución se utilizan también los segundos, que son algo más baratos y satisfacen las exigencias del servicio².

El objetivo de esta tesis es analizar las investigaciones desarrolladas sobre aisladores fabricados con poliéster (particularmente en el país, IIE) e investigar su viabilidad para substituir en ciertas aplicaciones, a los aisladores de porcelana y vidrio por cuya manufactura se pagan regalías importantes que representan una fuga de divisas.

2.- Características Principales de un Aislador

El aislador debe cumplir dos objetivos primordiales -- que son: sostener mecánicamente el conductor y no dejar pasar la corriente del conductor al soporte.

Las formas en que la corriente puede pasar a los soportes son las siguientes:

- Conductibilidad de la masa, si bien es cierto, con los materiales empleados en la fabricación de los aisladores la corriente derivada por esta causa es realmente insignificante.
- Conductibilidad superficial, la cual se favorece con la humedad, el polvo o las sales depositadas que pueden cubrir la superficie del aislador. Esta dispersión existente -- en mayor o menor grado, pero se reduce dando a la superficie un perfil y características apropiadas.
- Perforación de la masa del aislador. En tensiones poco elevadas, el espesor del material es más que suficiente -- para evitar la perforación, pero en los aisladores utilizados para altos voltajes no es conveniente emplear grandes espesores porque su fabricación es difícil. Por esta razón los aisladores se fabrican como piezas superpuestas de espesor reducido.
- Descargas disruptivas, formándose un arco entre el hilo y el soporte y a través del aire cuya rigidez no basta para evitar la descarga. Se facilitan las disrupciones -- por la humedad y especialmente por el agua de lluvia, por-

que los filetes de ésta que se desprenden de la superficie del aislador toman el potencial del conductor y se encuentran a menor distancia del soporte que de aquél. El fenómeno acusa con mayor intensidad cuando la lluvia es inclinada. Se evitan estas descargas dimensionando apropiadamente los aisladores proveyéndoles de una o una serie de campanas, con arreglo al voltaje de trabajo de la línea. De este modo se aumenta la distancia existente entre el conductor y el soporte².

3.- Ventajas de Fabricación y Diseño de Aisladores Sintéticos con respecto a Aisladores de Porcelana

El empleo de materiales aislantes de origen orgánico -- utilizados en aisladores tanto de alta como de baja tensión_ ofrece las siguientes ventajas en relación con los materiales tradicionales como cerámicas y vidrios.

- Procesos de producción a temperatura ambiente.
- Facilidad de aceptar y adherirse a los metales.
- Menor peso
- Propiedades Mecánicas y Eléctricas equivalentes a los ma--
teriales tradicionales.
- Bajo Costo³.

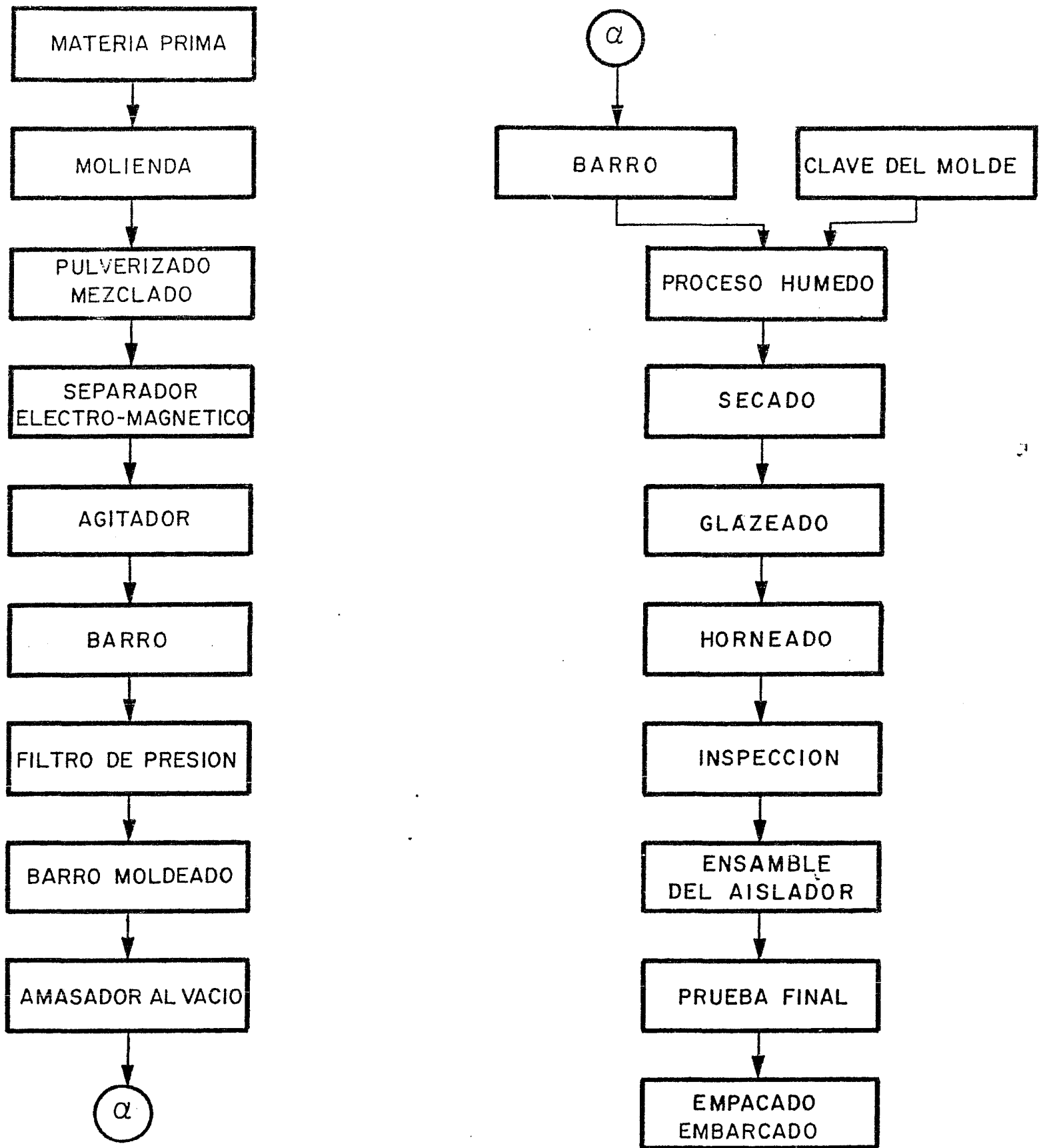
En este capítulo se expondrán tres procesos de fabricación diferentes que¹ dependen del material utilizado; así, se podrán verificar algunas de las 3 primeras ventajas antes -- expuestas y para las dos últimas ventajas se detallarán los_ estudios realizados en México en capítulos posteriores.

3.1.- Proceso de fabricación de aisladores de porcelana

La porcelana es una mezcla hecha de caolín, feldestapo y agua; en la fabricación de los aisladores estos componentes se homogenizan hasta formar una pasta blanca lechosa - - que después se deposita en moldes de barro para que resistan la temperatura del primer horneado. Ya llenos los moldes_ se introducen en un horno a una elevada temperatura, después se saca, y es cuando toma forma de un "biscocho" ya que es - blanco y poroso; para disminuir la porosidad se le aplica un barniz obteniendo una superficie lisa, muy dura y brillante. Este barniz se puede aplicar por inmersión, brocha o aspersión.

Después de aplicarle el barniz se introduce por segunda

Fig 3.1.1 Proceso de Manufactura de Aisladores de Porcelana¹⁵



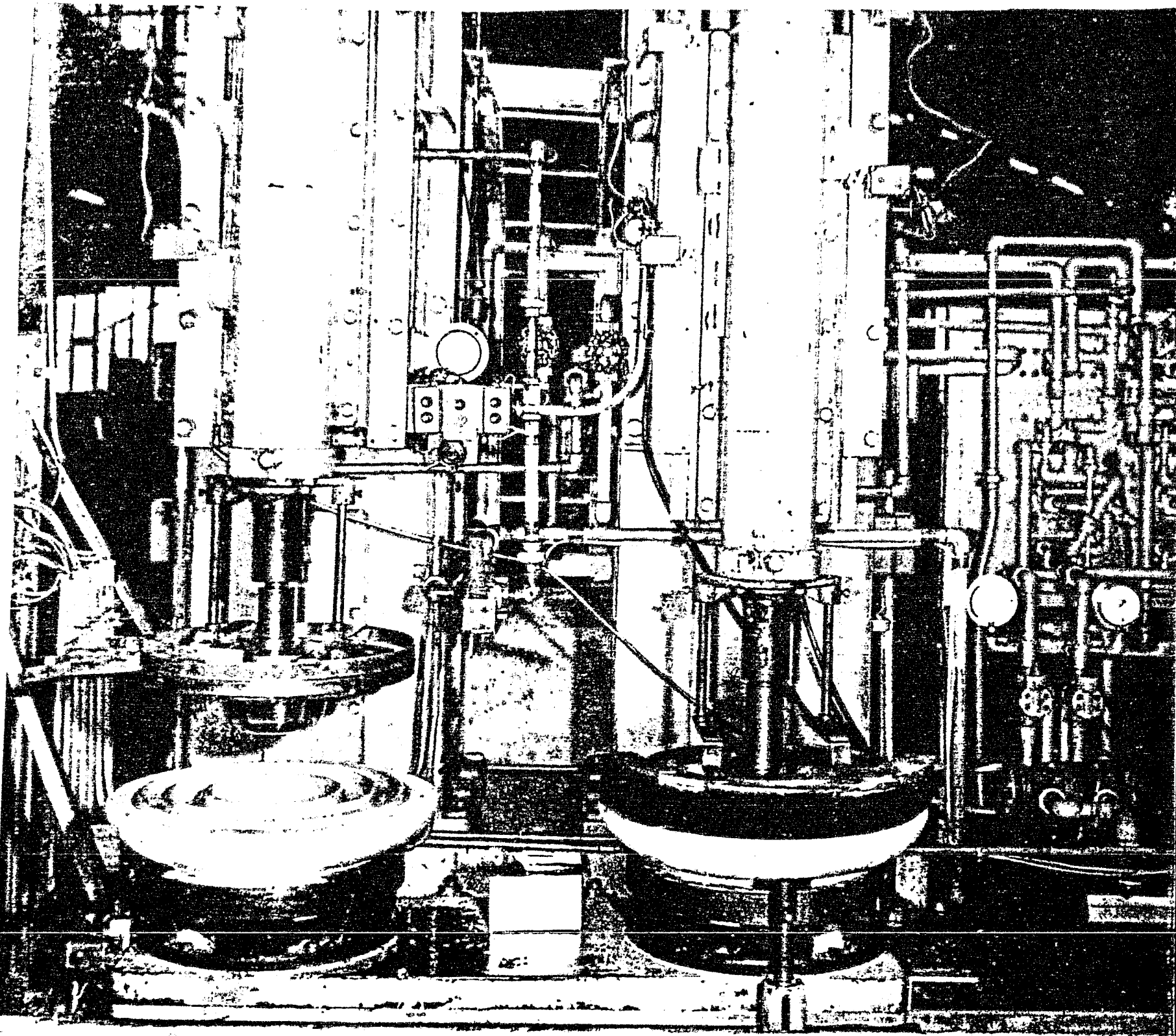


Fig 3.1.2 Inyección automática para la campana y el soporte tipo alfiler de los aisladores¹⁵

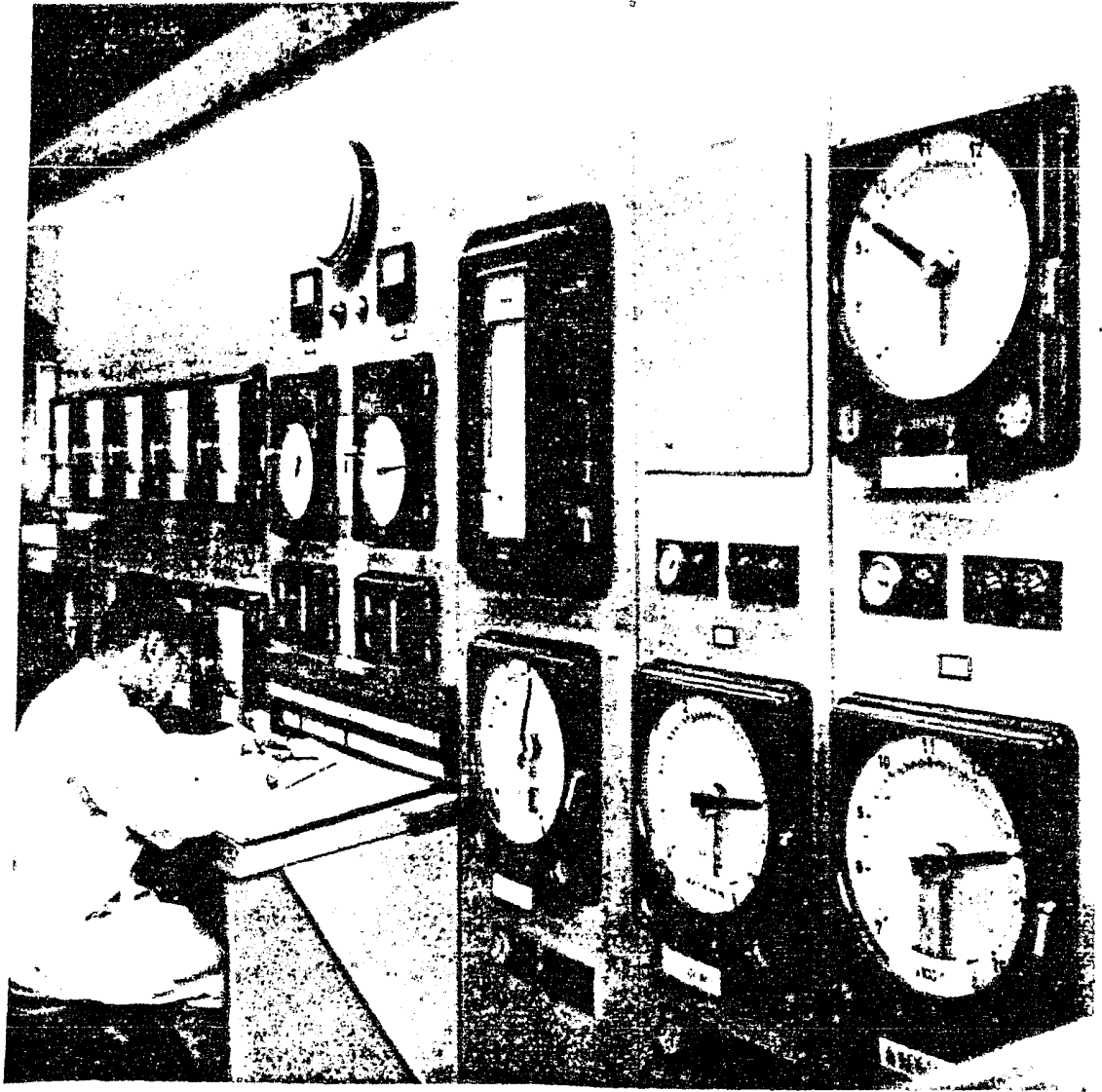


Fig. 3.1.3 Panel de Control¹⁵

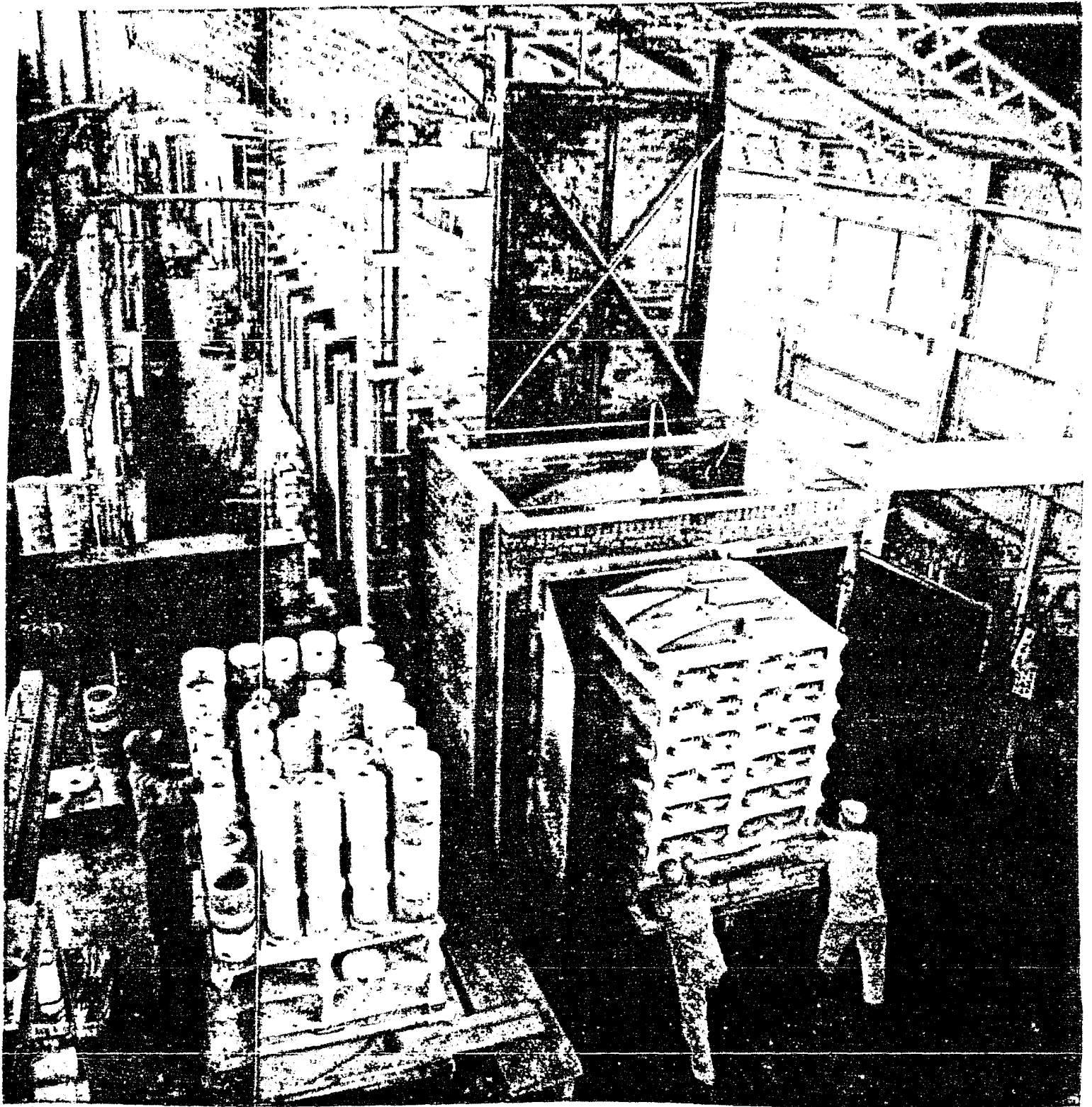


Fig. 3-1-4 Tunnel de Hornado. Los aisladores se glacean y son horneados hasta convertirse en porcelana; los cuerpos glaceados son transportados en carros y pasan bajo zonas donde se fija la hora de entrada, la temperatura y la presión son controladas automáticamente.¹⁵

vez a un horno de elevada temperatura para que se endurezca y brillante. Después se deja enfriar y se les da un - - pequeño golpe, si tienen un golpe continuo se aprueban y si tienen un golpe ronco o bofo se descartan, ya que en alguno de los dos horneados se quebraron por humedad en su interior. figs. (3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.1.4.).

3.2.- proceso de fabricación de aisladores sintéticos

3.2.1.- pultrusión

La Pultrusión es un proceso continuo de moldeo, que -- consiste en jalar filamentos o tejidos continuos de fibra - de vidrio a través de una resina (termo fija) en fase líquida para impregnar, y después a través de un dado caliente, donde por efecto de la temperatura, se produce una reacción y el curado. El perfil resultante se da con la forma de la cavidad maquinada en el dado.

Los hilos o tejidos continuos de refuerzo debe impregnarse totalmente en la resina, y son jalados mediante un -- mecanismo de tracción situado entre el dado y una sierra, - que, actuada por un microswitch, corta al perfil en longitudes predeterminadas (ver figura 3.2.1.1.)

Materias primas

El material a pultruir es compuesto y la posibilidad - de combinaciones de refuerzo y resina es muy amplia; sin -- embargo, la fibra de vidrio con poliester constituye el - - 85% del total (en peso) producido mundialmente. La fibra_ de vidrio puede alimentarse en forma de hilos contínuos - - (Roving), unidireccionales o en forma de telas tejidas, - -

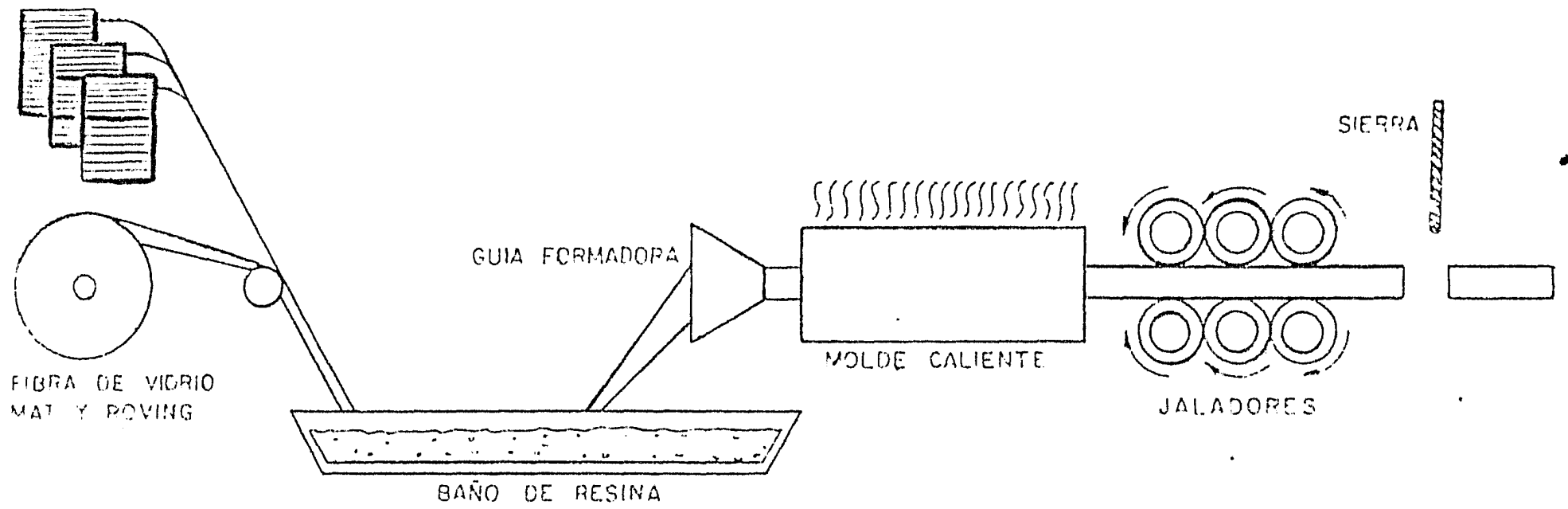


Fig (3.2.1.1) El proceso de Pultrucción

trenzadas o multidireccionales. El tiro y contenido de fibra de vidrio, que usualmente varía entre 50% y 70% en peso, determina la resistencia y rigidez mecánica del perfil. La formulación de la resina determina características tales como rigidez dieléctrica, absorción de humedad, resistividad, clase térmica, resistencia a rayos ultravioletas, el arrastre o "tracking", etc.

Los aisladores de suspensión así fabricados se usan en líneas de distribución y transmisión desde 15 kv hasta 1120 kv. La barra pultruida soporta la tensión mecánica. Moldeado sobre la barra, el elastómero flexible da el contorno necesario para soportar los esfuerzos eléctricos (ver figura 3.2.1.2).

Esta separación de funciones da como resultado aisladores con un peso de 1/5 a 1/10 del de las cadenas de aisladores de porcelana.

De manera general podemos decir que un aislador de material pultruido tiene:

- Calidad uniforme, por ser un proceso continuo autoajutable.
- Bajo peso.
- Flexibilidad de diseño.
- Fáciles de maquinar.

3.2.2.- Inyección de moldes.

Una mezcla de poliéster y caolines se inyecta a los moldes, las proporciones de ésta son variables dependiendo de la resistencia a la temperatura, a la tensión y a la --

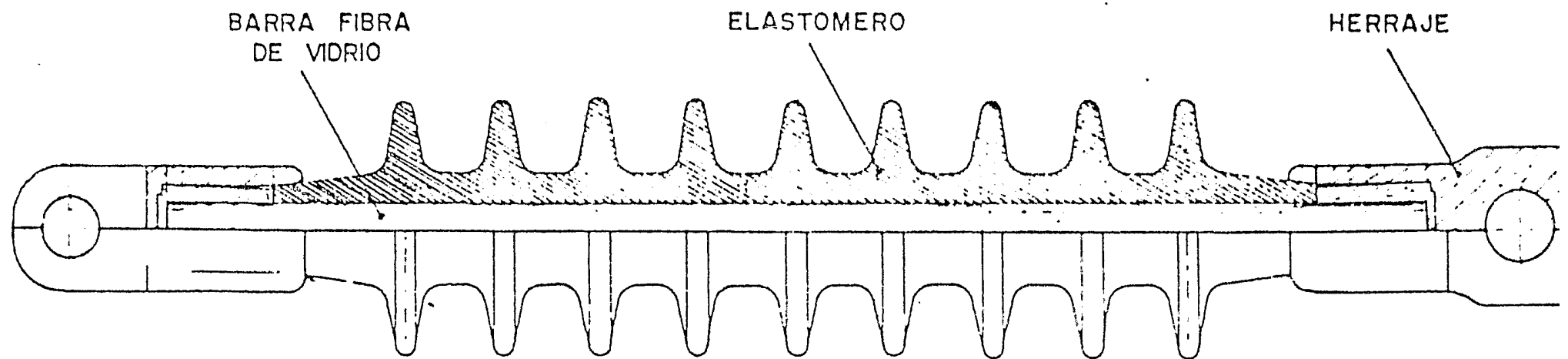


Fig (3.2.1.2) Aislador de suspensión clase 25 kv⁶

compresión que se desee obtener.

Los componentes se mezclan lentamente para evitar --
grumos que taparían las venas para la inyección de los --
moldes.

Un punto muy importante de este proceso es la fabri-
cación de los moldes, ya que de éstos dependerá la versa-
tilidad de las piezas a fabricar.

Los moldes deberán ser semirígidos para que puedan -
fácilmente desmoldarse las piezas, las salidas del molde_
son mínimas comparado con moldes rígidos, por ejemplo - -
moldes de acero, sin embargo su costo y su flexibilidad -
en el diseño hacen de consideración despreciable la vida_
del molde.

Cuando la mezcla que se va a inyectar a los moldes,--
está completamente homogenizada, se pasa a un recipiente,
para extraer las burbujas que se crearon cuando la mezcla
fue batida, acto seguido se le inyecta aire al tanque pa-
ra elevar la presión y poder inyectar la pasta al molde.
El molde fue preparado previamente para la inyección de -
la mezcla, aplicándole una película de silicón para que -
sirva de desmoldante; después se cerró dejando sellados -
los perfiles de unión del molde para evitar fugas.

La mezcla se inyecta y se deja reposar hasta que - -
fragüe, cuando la pieza llega a tener cierta rigidéz se -
saca del molde y se deja curar, si es un aislador que no_
lleva herraje, se pasa a corte de inyección y después se_
pule para pasar después a empaque. Si es aislador que_
lleva herrajes se deja la parte donde se va a pegar con -

PROCESO DE FABRICACION

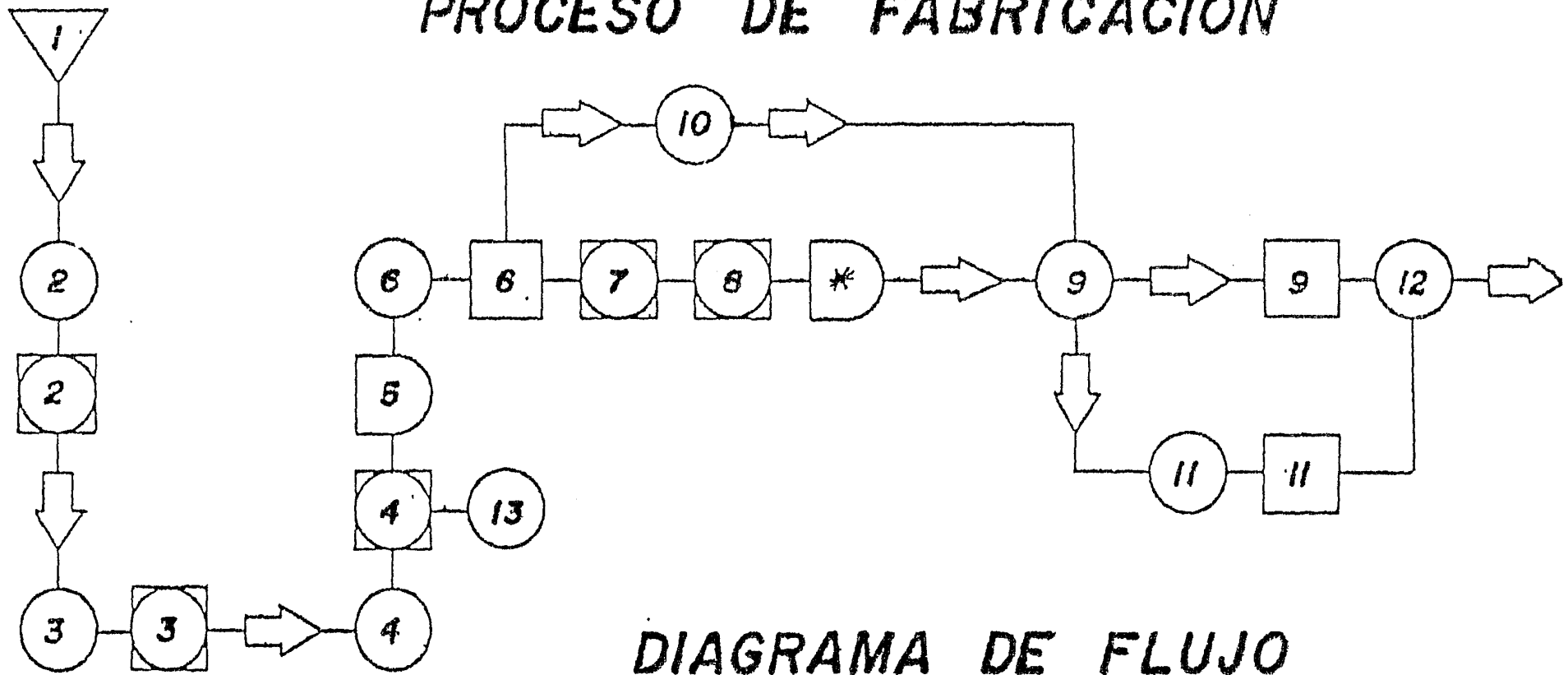


DIAGRAMA DE FLUJO

1.-ALMACEN DE M.P.
 2.-VACIADO DE M.P.
 3.-MEZCLADO
 4.-LLENADO DE MOLDES
 5.-FRAGUADO
 6.-DESMOLDEADO
 7.-LIMPIEZA DE MOLDES
 8.-ENSAMBLADO

9.-CORTADO
 10.-HORNEADO
 11.-PEGADO
 12.-EMPACADO
 13.-LIMPIEZA DE CUBETAS DE VACIADO
 14.-ALMACEN DE P.T.
 * ESPERA DE 12 HRS. PARA CORTE

Fig (3.2.1.3) El proceso de inyección de moldes

el herraje y después se lleva a hornear para mejorar la -
resistencia del pegamento⁷.

Se puede asegurar que los procesos de fabricación de los aisladores sintéticos con respecto a los de porcelana presentan ahorros de consideración como: Energía, manejo, equipo, número de pasos y peso en la tabla 3.1 se muestran en forma comparativa los procesos mencionados en este capítulo.

TABLA 3.1

PROCESOS DE FABRICACION

	Porcelana	Sintéticos	
		Pultrución	Inyección
No de Pasos	19	16	14
Equipo	Hornos, inyectoros mezcladoras, alto nivel en aparatos de instrumentación, moldes de barro	Pultruidora, mezcladora, dados diferentes según el perfil	Moldes, mezcladora
Temperatura (Energía)	Muy altas temperatura	Alta temperatura	Temperatura ambiente
Maquinado	No se puede maquinar	Fáciles de maquinar	Fáciles de maquinar
Manejo	Poco manejables por ser pesados y quebradizos	Ligeros, difícilmente se rompen	Ligeros y difícilmente se rompen

4.- Ensayos de Recepción de los Aisladores.

Por ello se comprende que antes de ser puestos en servicio, deben ser sometidos a una serie de pruebas mediante las cuales se analizarán las propiedades mecánicas y eléctricas de aisladores de porcelana y sintéticos con el fin de que realicen su cometido².

Estas pruebas son utilizadas generalmente en aisladores de porcelana; sin embargo se ha visto que el uso de materiales orgánicos ha traído como consecuencia el desarrollo de técnicas de evaluación diseñadas para calificar adecuadamente las características más importantes del material y su comportamiento, cuando se enfrentan a condiciones normales o severas de polución³.

A continuación se presentará una breve descripción de las pruebas mecánicas y eléctricas; así como los resultados obtenidos dando una explicación más formal con respecto al origen y fundamentos de estos estudios.

En el capítulo posterior se describirán los métodos aceptados para estudiar el comportamiento de los aisladores de porcelana y sintéticos, es decir, aisladores de diferentes materiales bajo las condiciones antes especificadas.

4.1.- Descripción de las pruebas Mecánicas y Eléctricas.

Se verá en primer lugar el ensayo de comprobación de la fabricación de los aisladores y relativo a la tensión crítica o tensión de sobrecarga en seco y con llu-

via, para lo cual es indispensable disponer de altos voltajes con arreglo a las tensiones de trabajo de los aisladores objeto de la prueba.

Se obtienen por medio de transformadores monofásicos cuyos arrollamientos primarios de baja tensión se conectan fuentes de energía, en los cuales pueden obtenerse diversos voltajes.

Por lo que respecta a la capacidad de los transformadores de prueba es necesario para poder determinar la resistencia a la perforación de los aisladores, que tengan al menos una capacidad de 20 000 Kv.

Generalmente uno de los polos se conecta a tierra fig. (4.1.1.a.b) y el otro a un bastidor metálico aislado y situado en la parte superior de la cubeta, donde se colocan los aisladores para su ensayo. En este caso, también se conecta a tierra la cubeta y se hace llegar la tensión a cada uno de los aisladores por medio de cadenas que dependen del bastidor metálico y cuyos extremos se introducen en las cavidades existentes para la fijación de los soportes, llenando éstos previamente con agua.

Los aisladores estarán colocados boca abajo, y la tensión de la cubeta se transmite a ellos por el agua que cubre sus cabezas.

De este modo los aisladores se hallarán sometidos a la tensión del secundario del transformador, cuyo voltaje irá aumentando gradualmente hasta llegar al valor deseado.

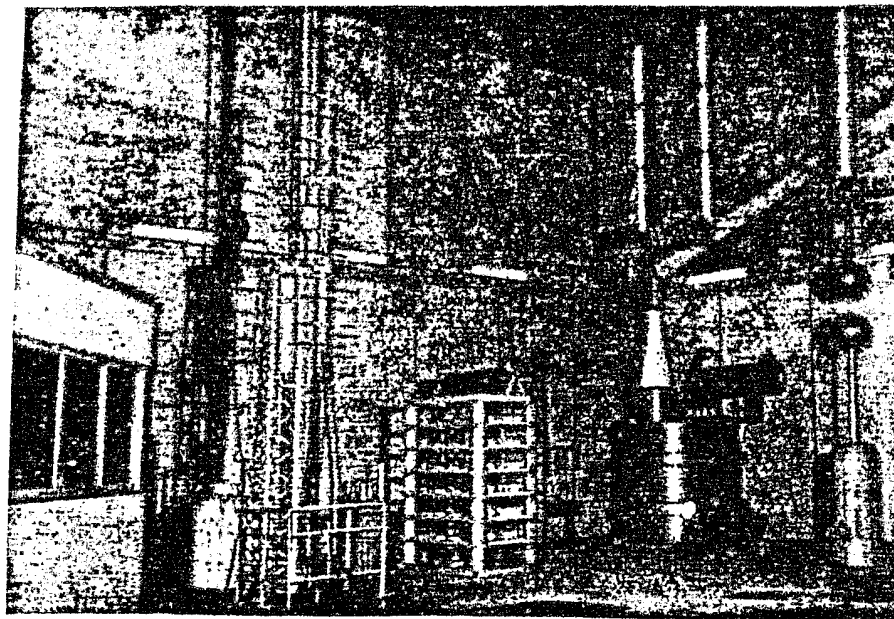


Fig. (4.1.1) a) Cuarto de Prueba para alto voltaje,
equipo principal (de izq. a der.)
cuarto de control, equipo de aspersión,
generador de impulso de 600 Kv Transformador de prueba de 300 kv, esferas de -
30 cm.

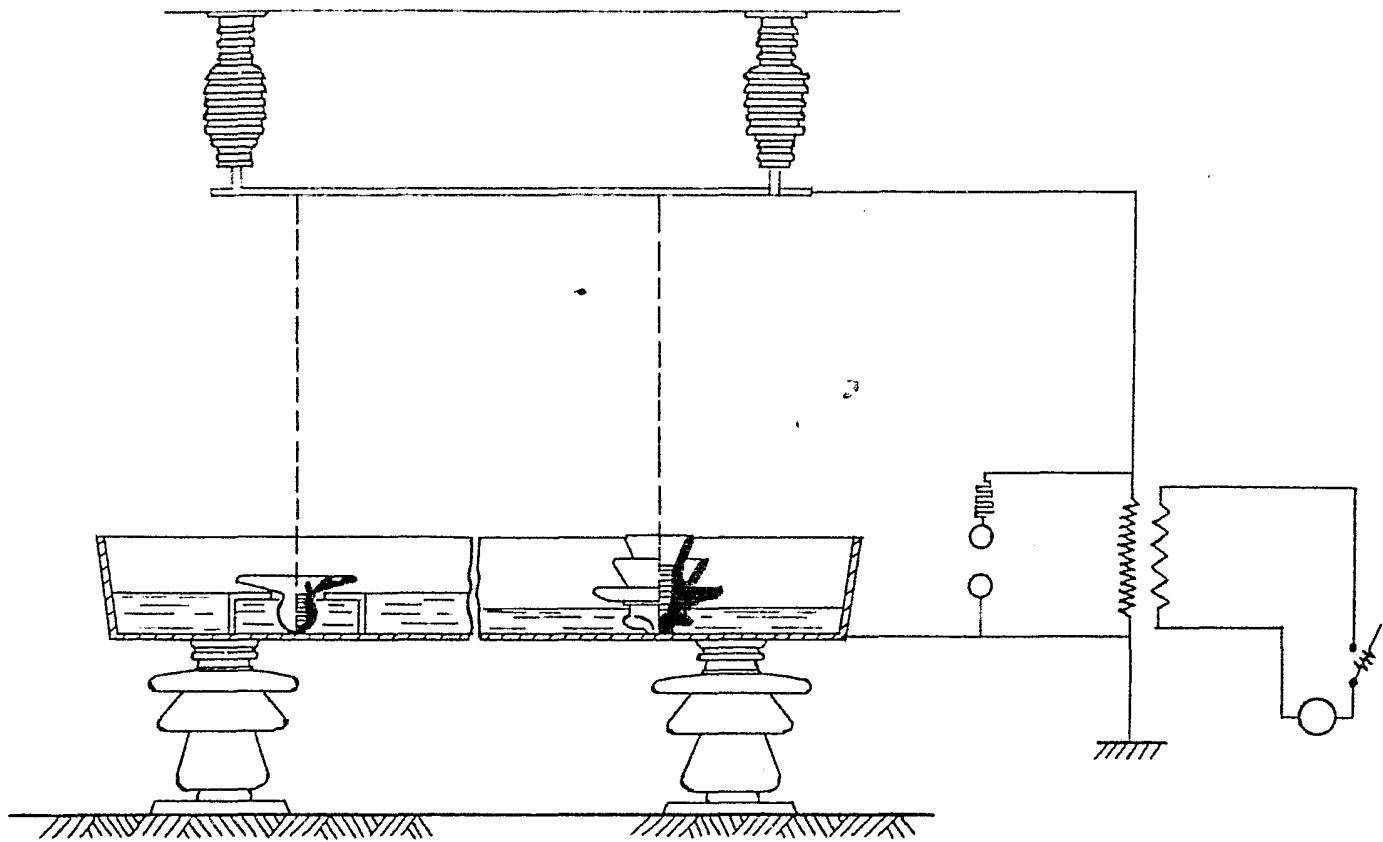


Fig. (4.3.1) b) Disposición para el ensayo de los aisladores²

La tensión a que se produce la descarga se mide por --
unas esferas metálicas separadas convenientemente. Cuando
se perfora el aislador o se forma arco, un interruptor au--
tomático, de que va provisto el circuito primario del trans--
formador, desconecta la fuente de energía para evitar sobre--
intensidades en la instalación; para evitar sobretensiones
en el transformador se coloca una resistencia de 1Ω aprox --
en serie, lo más próxima a las esferas metálicas.

Este ensayo tiene lugar con el 12% de las piezas de --
cada lote.

Durante este ensayo se procurará que los aisladores --
estén montados en la posición de trabajo con respecto a ma--
sas metálicas para reproducir en lo posible las condiciones
de servicio. A este fin se colocará al lado de los aisla--
dores, y a distancia conveniente para evitar descargas late--
rales directas, un larguero metálico vertical unido al so--
porte.

El conductor de la línea será substituído por un trozo
de varilla metálica de dos metros de longitud.

La prueba se efectuará en local amplio y ventilado pa--
ra evitar errores debidos a la ionización del aire.

Se prefiere conectar con tierra el polo del transfor--
mador unido a la cruceta del soporte del aislador.

Al comenzar el ensayo se anotará la presión barométrica,
con humedad del aire, la temperatura ambiente y la re--
sistividad del agua destinada a la prueba bajo lluvia para--

efectuar, en su caso, las precedentes correcciones en los ensayos.

Estas pruebas deben efectuarse en locales oscuros, para observar mejor los fenómenos luminosos.

La tensión aplicada al comienzo del ensayo será, aproximadamente, la mitad de la presunta tensión crítica y se aumentará gradualmente, a razón de 5 kv por segundo, hasta producir la descarga superficial.

Se determinará primero la tensión crítica en seco y después la tensión con lluvia, si se trata de aisladores que han de ser colocados al exterior.

Para la prueba bajo lluvia, el agua se lanzará con trayectoria parabólica, de modo que el aislador la reciba con una inclinación de 45° con respecto a la vertical.

La precipitación normal deberá ser de 5 mm por minuto y se medirá mediante un pluviómetro colocado al lado del aislador, con la boca horizontal situada a la altura del centro de la figura del aislador. El diámetro del pluviómetro será de 250 mm.

Antes de la prueba, y al menos durante un minuto, se someterá el aislador a la acción de la lluvia artificial.

La resistencia normal del agua se considera de 10000 Ω por centímetro cuadrado y la temperatura de 15°C .

Otra prueba es la que se realiza para determinar la porosidad del material empleándose a tal objeto aisladores rotos de otras pruebas y separados por selección.

Los trozos se sumergen en una solución alcohólica de fucsina durante 24 horas, bajo la presión de 100 Kg/cm². Esta presión podrá variarse, pero teniendo en cuenta que el producto del tiempo en horas, por la presión en Kg/cm², no debe ser superior a 2400.

En todo caso, la presión nunca descenderá por bajo de 70 kg/cm². Las piezas serán extraídas del baño colorante y se secarán, no debiendo dar señales de penetración por el color en contacto con la superficie.

La prueba de variación rápida de la temperatura es también de interés. Se practificará sobre el 4% de los elementos de cada lote. Los aisladores serán sumergidos alternativamente en agua caliente y fría. Inmersiones de 10 minutos, esto es, ciclos de 20 minutos, son suficientes a tal objeto, y la última inmersión de la prueba deberá ser en el agua fría.

Los ciclos térmicos tendrán una separación de temperatura de 70°C a 60°C y de 25 a 10 ciclos dependiendo del tipo de aislador en estudio.

El peso del agua de cada baño empleado para esta prueba deberá ser al menos igual a cuatro veces el peso de los aisladores sometidos a las variaciones de temperatura referidos.

Después de la prueba térmica debe practicarse una prueba eléctrica para asegurarse que después de efectuadas las variaciones de temperatura no se habría producido ningún deterioro en los aisladores.

Los aisladores se someten también a una prueba de perforación en aceite, la cual se practica sobre el 4% de los elementos de cada lote, utilizando aisladores separados en la selección a la vista, por defectos que no impliquen disminución de las características eléctricas.

Sirven para determinar la rigidez dieléctrica media del material aislante, en las condiciones y forma presentadas por el aislador.

La tensión será aplicada y aumentada gradualmente, como se indica en la prueba de tensión crítica.

Las pruebas mecánicas: se efectuarán con el 4% de cada lote, utilizando para ello aisladores separados, a la vista, por defectos que no comprometan la resistencia mecánica.

Deberá efectuarse sobre aisladores completos, de modo que pueda determinarse el comportamiento bajo un esfuerzo que tenga dirección análoga a aquella en la que se verificará el trabajo del aislador.

Esta prueba deberá ser hecha sobre aisladores que no hayan sido determinados en la prueba de perforación en aceite, o de otro modo. Los aisladores serán sometidos durante 10 minutos a un esfuerzo igual a un tercio de la carga crítica; que es el esfuerzo mecánico, que disminuye la integridad eléctrica del aislador; contractualmente garantizada, y se aumentará después progresivamente hasta la ruptura completa. La progresión del esfuerzo será regulada de manera que se alcance la carga crítica aproximadamente en unos 30 segundos.

Se deberá tomar nota tanto de la carga crítica como de la que produce la ruptura completa, pudiéndose admitir coeficientes de seguridad diversos para cada una de las

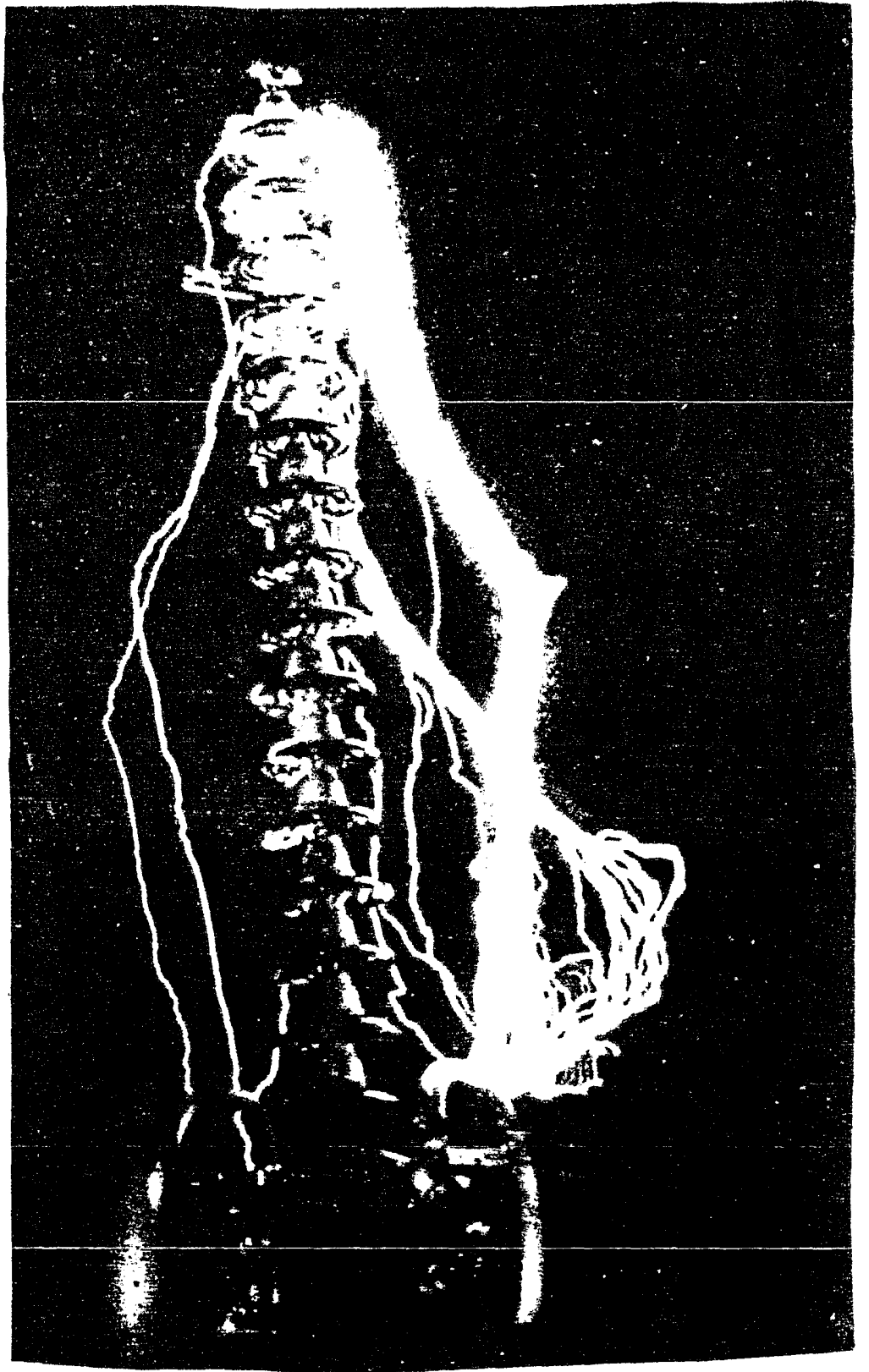


Fig. (4.1.2) Prueba de Flameo en seco sobre una cadena de aisladores de suspensión con control de arco de corona¹⁵

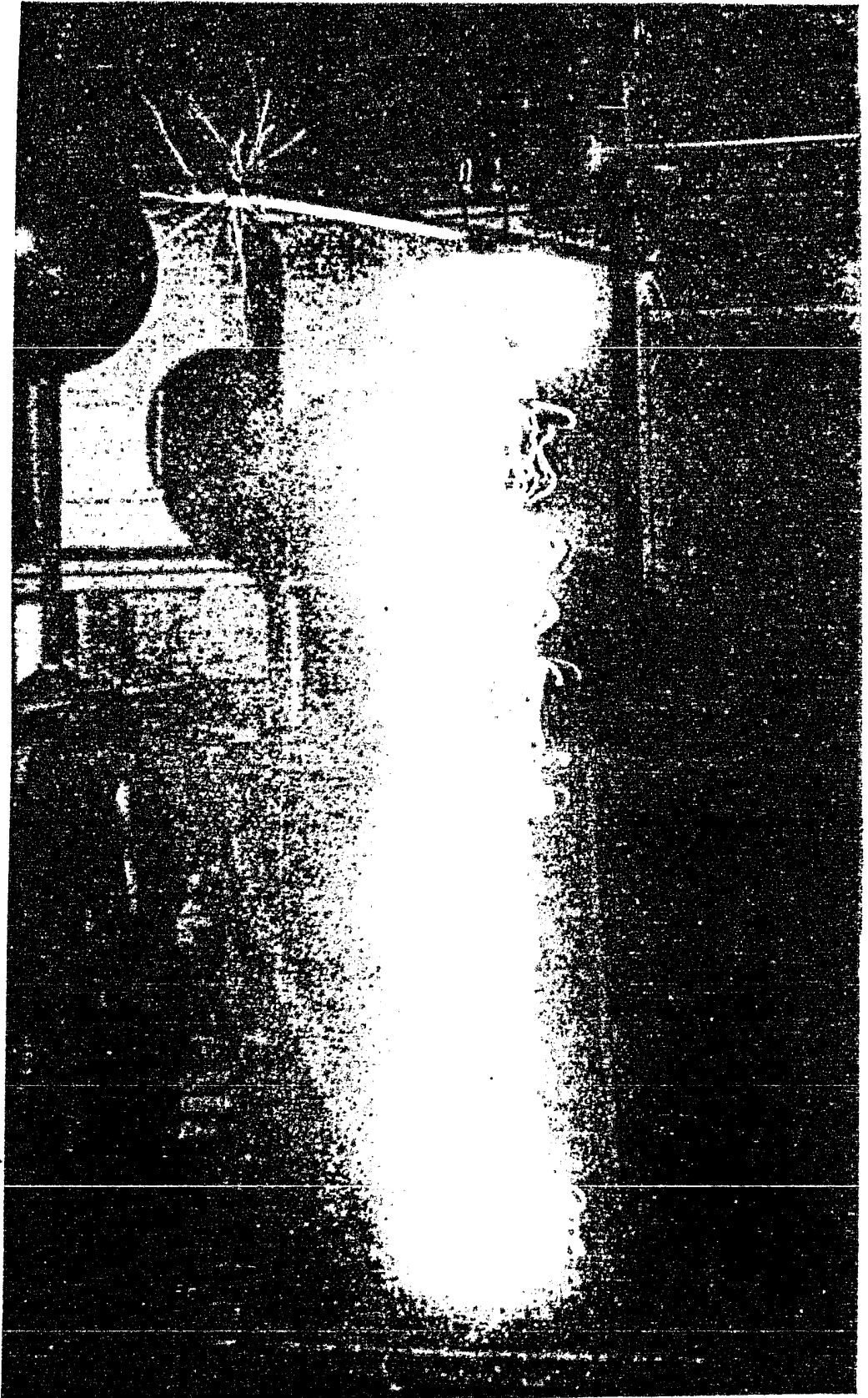


Fig. (4.1.3) Prueba de Flameo ex. húmedo sobre campanas
y switch tipo alfiler y aislante del bus15

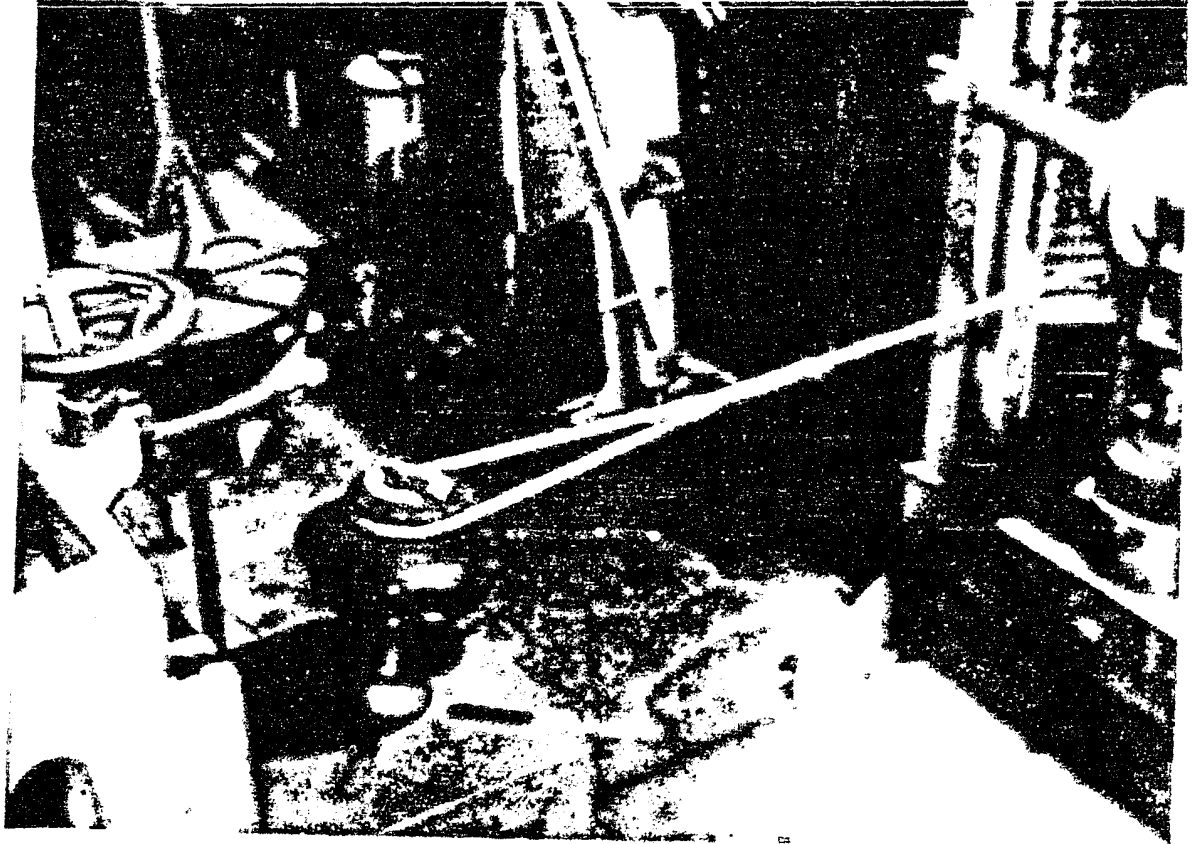


Fig. (4.1.4) Prueba en cantiliver aislador tipo alfiler¹⁵

dos cargas.

Prueba de alta frecuencia. Sirve para probar la rigidez dieléctrica y puede ser empleada como prueba selectiva.

La frecuencia debe ser como mínimo, de 300 000 periodos por segundo, y la instalación debe tener potencia de al menos 5 kva. La tensión de prueba deberá superar en un 25%, a la crítica en cero de los aisladores sometidos a la prueba. Esta debe durar cinco segundos

4.2. Resultados de las pruebas Mecánicas y Eléctricas

4.2.1 Origen y fundamentos

La palabra "calidad" tiene varios significados

En la industria, los significados dados a esta palabra incluyen entre otros:

- El grado en el cual un producto específico (en este caso aisladores) satisface las necesidades de un consumidor específico, (compañías distribuidoras de la energía eléctrica). Esta es la definición histórica que ha prevalecido y prevalece en aquellas situaciones donde el comercio fué transaccionado directamente entre el productor y el consumidor. Esto puede ser llamado "Lugar del mercado de la Calidad".

- El grado en el cual un producto específico es preferido sobre productos competitivos en grado equivalente, basado en pruebas comparativas por los consumidores. Esto es algunas veces llamado "preferencia del consumidor".

- Un factor relevante de un producto, por ejemplo apariencia, comportamiento, tiempo de vida, durabilidad, mantenimiento, etc. Este es usualmente referido como una característica cualitativa.

El elemental esquema, con el cual la "calidad" es construido, es el de características cualitativas tales como: Diseño, Especificación, Ingeniería de Proceso, -- Compra, Operación, Inspección, Ventas, uso.

La palabra "Control" también tiene diferentes significados que son importantes para la industria en especial.

- El que indica que es una comparación standar contra la cual se comparan los resultados de un experimento.

-Es un estado de uniformidad determinado por pruebas estadísticas. Se refiere usualmente al "Estado -- de Control Estadístico".

El "Control de Calidad" en su forma más común está definido para designar las herramientas de métodos estadísticos con las cuales se evaluará el esquema de "Calidad" de un producto específico. (Aisladores).

Hasta este momento se ha intentado presentar algunas de las "características cualitativas" de los aisladores que se encuentran en: la ingeniería de proceso, el uso, el diseño; sin embargo al encontrarse en el -- "mercado de la calidad" un aislador debe ofrecer - - -

"características cualitativas" que sean de "preferencia -- del consumidor; es decir un aislador como cualquier otro - producto debe ser sometido a "control de calidad".

El "Control de calidad" estará enmarcado por las es--pecificaciones del producto.

Contenido de las especificaciones de la "Calidad".

1. Autor de la especificación
2. La publicación de la especificación
3. Identificación de la especificación
4. Descripción del producto
5. Detalles requeridos (tales como tolerancias)
6. Métodos de prueba
7. Criterio sencillo (decisión del grado de conformidad en una prueba)
8. Empaque, Identificación, Manejo y Almacen

Los métodos de prueba se han detallado con anterioridad, sin embargo es necesario comparar los valores obtenidos en estas pruebas siguiendo el punto número siete.

Esta comparación será entre aisladores fabricados con el material descrito en el punto cuatro es decir conforme a la norma y aisladores fabricados con materiales sintéticos.

Para la evaluación presentaremos tablas con los valores obtenidos en cada una de las pruebas y una explicación con los valores de norma.

Aunque no es el propósito de esta tesis, cabe señalar

que un estudio minucioso, sobre los métodos de inferencia estadística utilizados, sería útil, para tener la posibilidad de elaborar una norma completa para aisladores de material sintético anexando los métodos de prueba para contaminación; y con respecto al material, la prueba de "tracking" las cuales serán detalladas en el siguiente tema.

Los resultados presentados a continuación son de aisladores tipo alfiler de 55.4 y 56.2, ya que existe una gran diversidad de aisladores se escogió el tipo más representativo para insulación; y para pultrucción aisladores en cadena.

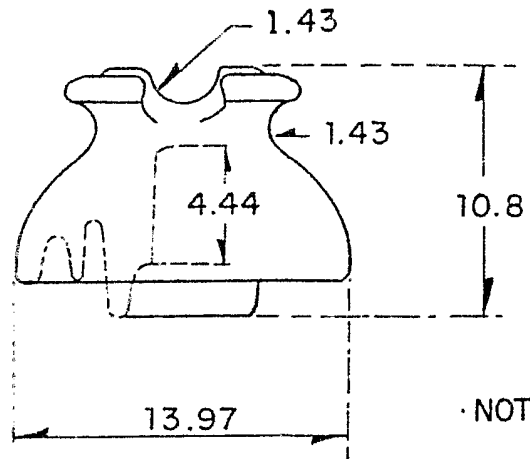
4.2.2 resultados de estudios normalizados

9
American Standard

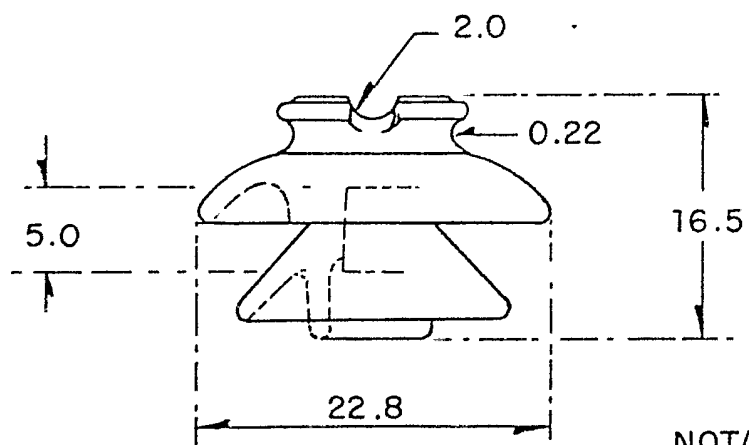
Aisladores de Porcelana, proceso húmedo

Tipo A1 · ler

CARACTERISTICAS	VALORES		Sección o párrafo en ASA C29 .11944
	Clase 55-1	Clase 56-2	
DIMENSIONES			
Distancia de fuga	22.86 cm	43.18 cm	2.6 1
Distancia de arqueo en seco	12.70 cm	20.95 cm	2.6 2
Altura mínima del alfiler	12.70 cm	17.18 cm	---
VALORES MECANICOS			
Resistencia Encantiliver	1,359 kg	1,359 kg	5.1.3
VALORES ELECTRICOS			
Baja frecuencia flameo en seco	70 kv	110 kv	4.1
Baja frecuencia flameo en humedo	40 kv	70 kv	4.2
Flameo a impulso positivo	110 kv	175 kv	4.3
Flameo a impulso negativo	140 kv	225 kv	4.3
Baja frecuencia voltaje de perforación	95 kv	145 kv	4.7
DATOS PARA VOLTAJE DE RADIO INTERFERENCIA			
Tensión máxima de Radio Interferencia a 1000 KHz	5,500 μ v	1,200 μ v	4.5



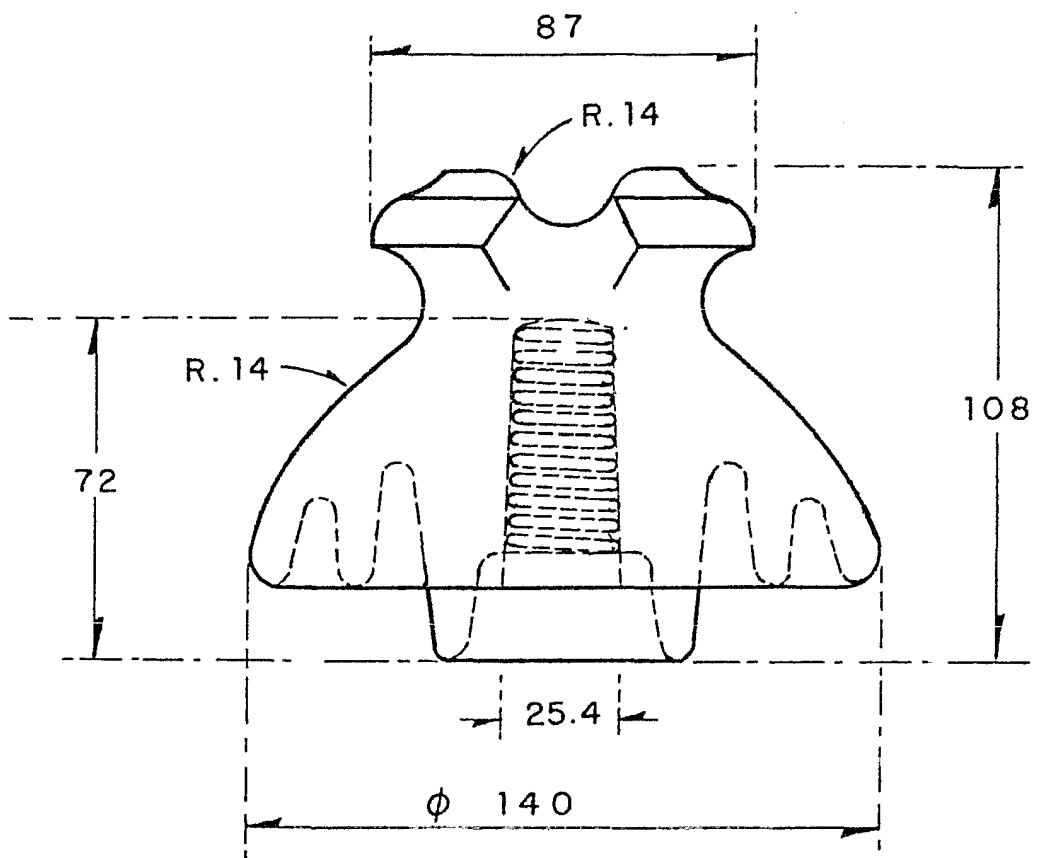
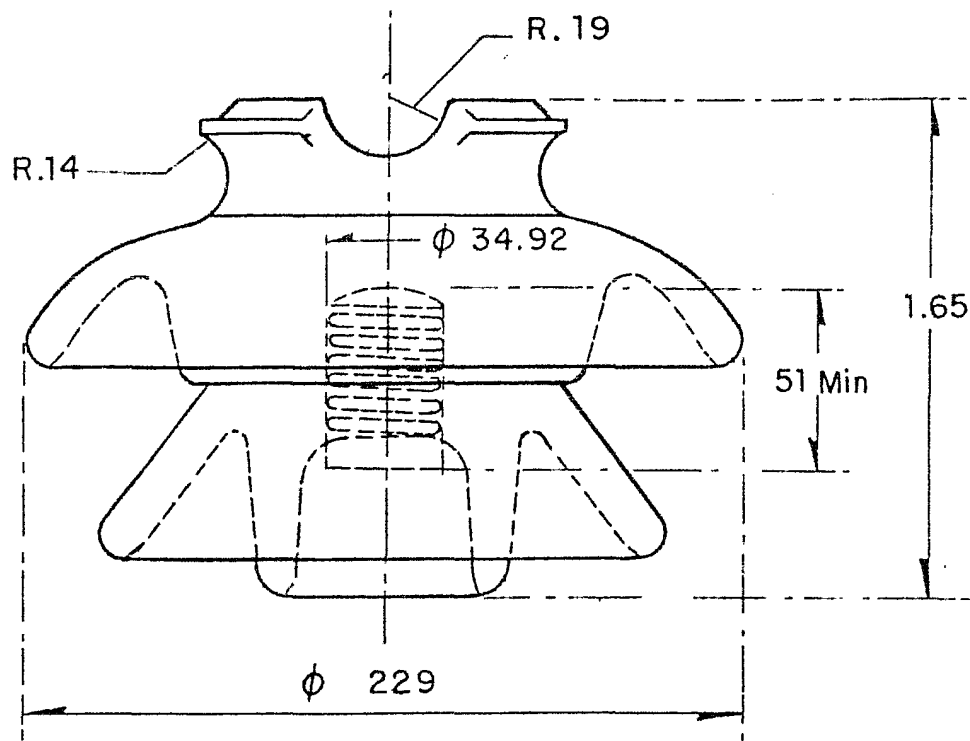
·NOTA : Acotaciones en cm



NOTA : Acotaciones en cm

4.2.3 resultados de estudios en México
Aisladores de Poliester, proceso por
inyección de moldes

Tipo Alfiler



Acotaciones en mm

CARACTERISTICAS	VALORES	
	Clase 55-4	Clase 56-2
DIMENSIONES		
Distancia de fuga	25.6 cm	43.0 cm
Distancia de flanco en seco	14.2 cm	21.0 cm
Altura mínima del alfiler	14.2 cm	18.0 cm
VALORES MECANICOS		
Resistencia alcantiliver	1,359 kg	1.553 kg
VALORES ELECTRICOS		
Flameo en seco a baja frecuencia	73.0 kv	115 kv
Flameo en humedo a baja frecuencia	40 kv	73 kv
Flameo al impulso negativo	135 kv	249 kv
Flameo al impulso positivo	112 kv	180 kv
Tensión de perforación a baja frecuencia	156 kv	**
CARACTERISTICAS DE RADIO-INTERFERENCIA		
Tensión máxima de radio interferencia a 1000 KHz	5,500 μ v	2P18***

*

* Además de las pruebas aquí descritas se hizo la de choque térmico, anexo 1

** Debido a los estudios hechos a estos aisladores se demostró que el voltaje aplicado puede ser mayor al que marca la norma sin presentar ninguna perforación, no se fijo el voltaje, ver anexo 2

*** En esta prueba se hizo una comparación con un aislador de porcelana de fabricación nacional y se muestran los resultados en el anexo 3

A N E X O I

PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS

Prueba de Choque Térmico

a) Equipo :

Para esta prueba se construyeron dos recipientes de 42 cm. de diámetro y 60 cm. de profundidad cuyo contenido de agua fue diez veces el peso de un aislador a probar evitando así variaciones de temperatura por inercia térmica, tanto en la parte fría a 4° C como en la caliente a 66° C.

Una pequeña bomba fue utilizada en ambos baños para forzar la circulación del agua y así homogenizar la temperatura. El control y consecución de ésta en la parte caliente fue realizado mediante un interruptor "on-off" a través de tres resistencias de inmersión de 1500 watts cada una y la medición se realizó mediante un termopar tipo "a" colocado a 10.2 cm. del aislador.

El baño de agua fría (4°C) se colocó dentro de un congelador con regulación automática de temperatura y la medición de esta se realizó con un termopar similar al descrito arriba.

b) Procedimiento:

Se seleccionaron cinco especímenes de un lote de 20 aisladores y la prueba consistió de inmersiones alternadas de la muestra en agua a 66° C y 4° C durante 10 minutos para ambos casos, con una duración de 5 segundos durante la transferencia del aislador de un baño al otro. El número

ro de ciclos calientes y frios fue de 10 para cada aislador siendo la prueba realizada espécimen por espécimen. - La regulación de temperatura se mantuvo con una variación de 2° C para ambas temperaturas.

Prueba de Porosidad

a) Equipos

Se utilizó una autoclave marca Chandler con una capacidad de 50,000 psi en una cámara de 11 cm. y 17 cm. -- de profundidad. La solución usada para la prueba consistió de un gramo de fucsina básica disuelta en un litro de solución cuyo contenido fue de 50% de alcohol etílico y - 3 50% de agua.

b) Procedimiento

Se cortaron fragmentos de aislador de aproximadamente 19 mm. de diámetro quedando totalmente inmersos en la solución preparada y dentro de la cámara del autoclave. -- Se aplicaron 10,000 psi durante dos horas y después se -- sacaron y cortaron para su análisis.

RESULTADOS

Prueba de Choque Térmico

La norma establece que si dos de los cinco aislado-- res colapsan a causa de los esfuerzos mecánicos produci-- dos por los cambios térmicos, se deberá considerar que no pasan la prueba.

Para éstos aisladores no se observó cuarteadura o rompimiento alguno en cada aislador por lo que se considera que sí pasan la prueba.

Prueba de Porosidad

Después de haber sometido los fragmentos de aislador a la presión establecida e inmersos en la solución de fucsina fueron cortados para su análisis, se observaron microscopica y visualmente, y no hubo penetración alguna del colorante, por lo que se considera que sí pasan la prueba.

A N E X O I I

I. - INTRODUCCION

Se reporta la prueba de cantilever aplicada a 3 aisladores clase 56-2 de acuerdo a las normas ANSI.

II - OBJETIVO

Aplicar una carga mecánica, en línea con el lado acanalado del aislador y normal al eje del agujero del alfiler, - hasta obtener el valor de falla del aislador.

III - CARACTERISTICAS DEL AISLADOR

Tipo: Aislador tipo aguja doble campana

Clase: 56-2

Peso: 4.35 Kg

Carga máxima normalizada: 1364 Kg.

IV - EQUIPO UTILIZADO

Máquina de prueba: Instron Mod. 1125

Velocidad del cabezal: 5 mm/min

Velocidad de la gráfica: 20 mm/min

Carga máxima: 2000 Kg.

Base para el Aislador a prueba

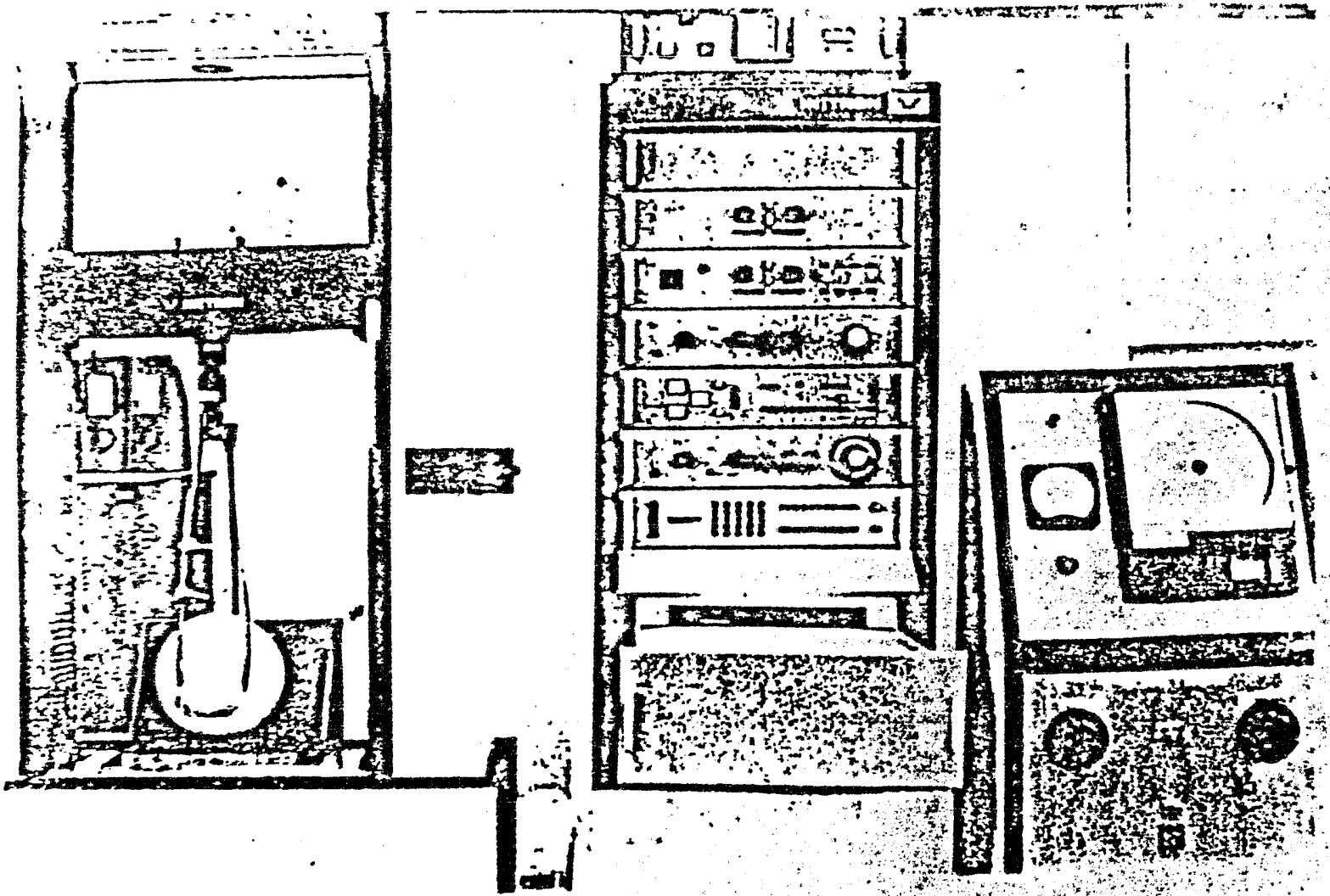
V - PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

Se seleccionaron 3 aisladores al azar de un lote de -- 20, los cuales fueron montados en la máquina de prueba de - acuerdo con la norma y se le aplicó la carga mecánica a ca- da uno de los aisladores obteniendo las gráficas siguientes, de donde se tomaron los datos de la carga.

<u>AISLADOR No.</u>	<u>CARGA MAXIMA SOPORTADA</u>
1	1600 Kg
2	1600 Kg
3	1460 Kg
Carga promedio soportada:	1553 Kg

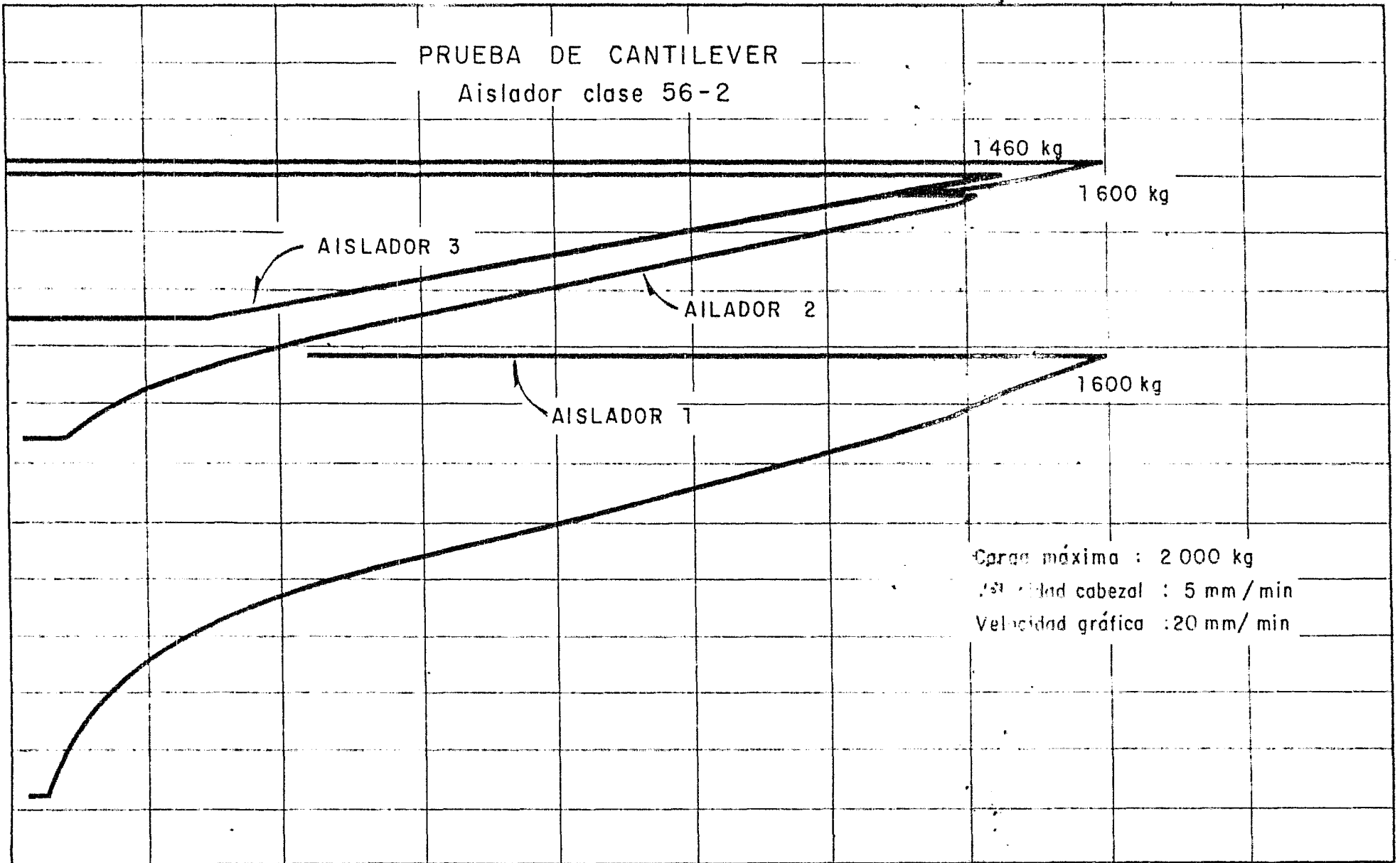
VI - CONCLUSIONES

Dado que la carga promedio soportada por los aislado-- res es mayor que la carga especificada y la carga sopor-- tada por cada aislador es también mayor que la especifica-- da en la norma, se considera que los aisladores si pasan la prueba de cantilever.



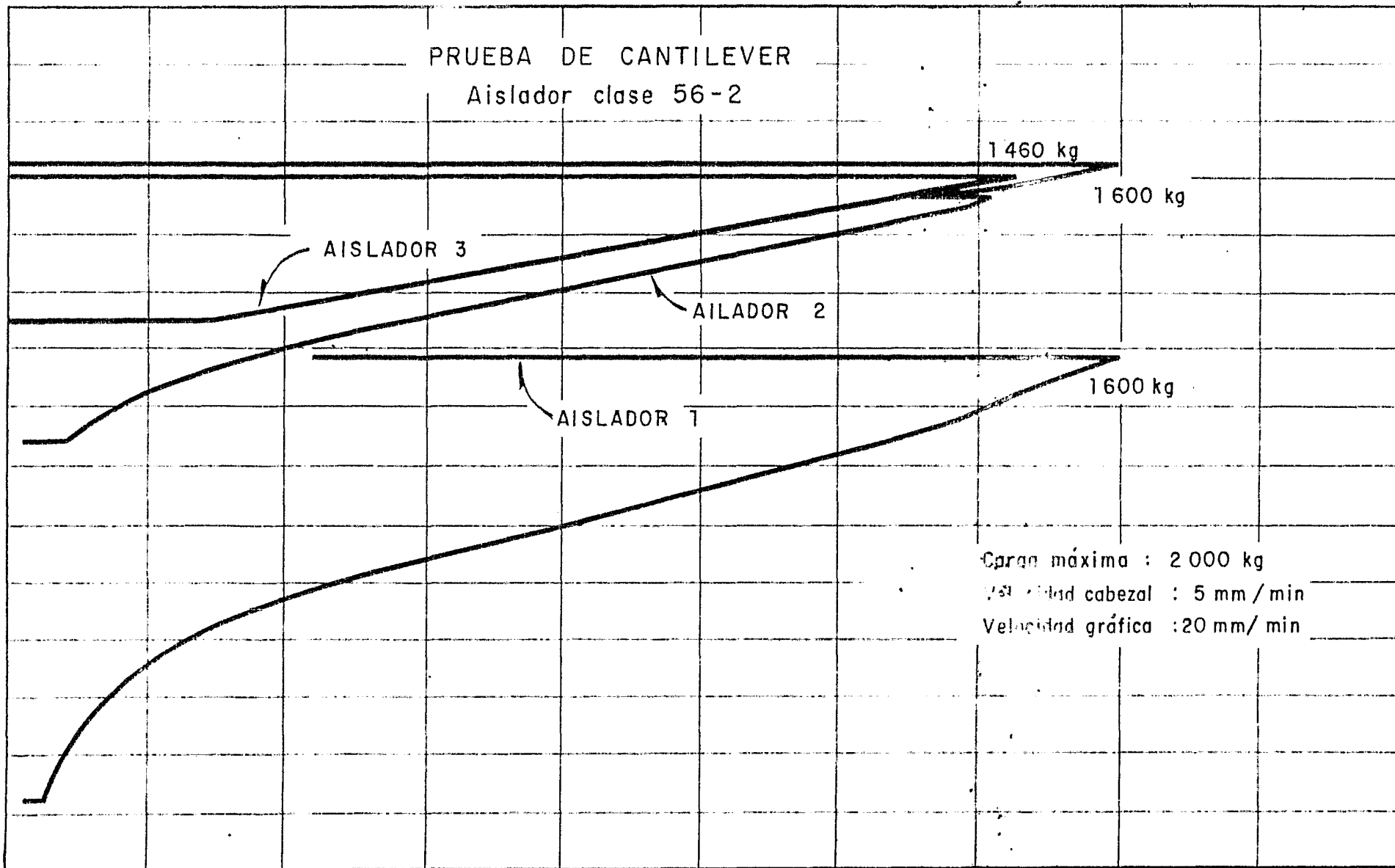
MAQUINA DE PRUEBA Y MONTAJE DEL AISLADOR.

PRUEBA DE CANTILEVER
Aislador clase 56-2



54

PRUEBA DE CANTILEVER
Aislador clase 56-2



1460 kg

1600 kg

1600 kg

AISLADOR 3

AISLADOR 2

AISLADOR 1

Carga máxima : 2 000 kg

Velocidad cabezal : 5 mm/min

Velocidad gráfica : 20 mm/min

A N E X O I I I

RESULTADOS:

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA PRUEBA:

- * Presión Barométrica: 650 mmHg
- * Temperatura Ambiente: 27.2°C
- * Temperatura Bulbo Húmedo: 25.3°C

<u>AISLADOR No.</u>	<u>VALOR LEIDO μV</u>	<u>VALOR CORREGIDO μV</u>
1	891	1412
2	1585	2512
3	708	1122
4	1000	1585
5	1778	2818
Porcelana	1259	1995

- El valor máximo permitido de R.I. es 12 000 μ V

CONCLUSIONES:

Dado que el voltaje de radio-interferencia de cada aislador es menor al que marca la norma, se considera que los aisladores si pasan la prueba de Radio-Interferencia.

Aisladores de Eoliester. Proceso por pultrucción

Tipo S Tensión

15 15 Kv

Características Eléctricas

Tensión de servicio	25 kv
Distancia de fuga (flameo)	569 mm
Distancia de arqueo en seco	302 mm
Prueba de impulso (-)*	258 kv
Prueba de impulso (+)*	200 kv
Flameo promedio a baja frecuencia	134 kv
Perforación en baño de aceite (60 hz) (impulso)*	390 kv

*Probabilidad de flameo de 0%

Características Mecánicas

Tensión Nominal	2280 kg
Tensión de Ruptura Barra de F V	16443 kg
Tensión de Ruptura Unión F V - Herraaje	5000 kg
Tensión de Ruptura Herraaje de AL	3886 kg

En la fig 4.2.1 se presentan muestras de las pruebas realizadas a barras de fibra de vidrio *

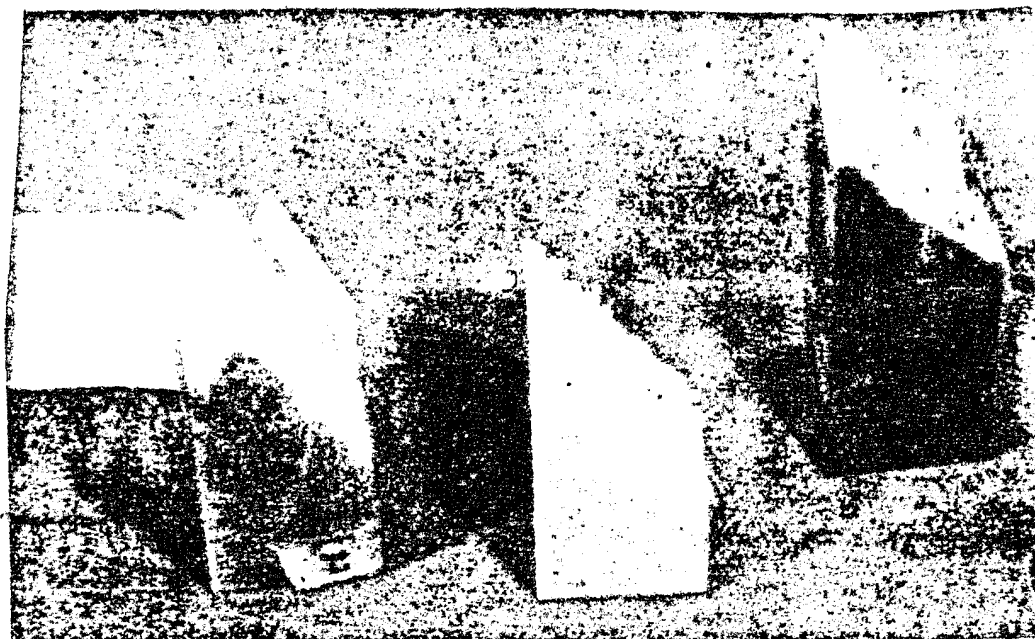
No se incluyeron los estudios normalizados por no tener información suficiente para hacer una comparación más exhaustiva.



Fig. (4.2.1) a) Prueba de tensión mecánica⁶



b) Observación del perfil en el microscopio electrónico de barrido⁶



c) Prueba de corte y compresión.⁶

4.3.- Descripción de la prueba de Contaminación

Las características ambientales en determinadas zonas de operación de las redes eléctricas someten a menudo sus aislamientos a condiciones dañinas de contaminación, tal es el caso de las áreas urbanas e industriales, y la región costera que recibe brisa máxima en sus instalaciones.

Este fenómeno hace que las características primarias de un aislador varíen negativamente, obligando a la compañía administradora a mantener programas y procedimientos para reducir las fallas que esa causa origine⁸.

Las pruebas de contaminación artificial permiten un conocimiento previo sobre una base experimental, del comportamiento de aislamientos externos cuando se enfrenten a condiciones normales o severas de polución.

En los aislamientos orgánicos, colateralmente a lo mencionado, la contaminación da lugar a fenómenos de degradación en el material, que reducen su vida útil. En aislamientos de porcelana este efecto es prácticamente nulo.

Las pruebas de tensión aplicada e impulso son ampliamente usadas en la evaluación de aisladores, y en la norma lización internacional se les asigna valores mínimos de diseño, en tanto que las pruebas de operación bajo contaminación están siendo estudiadas en todo el mundo⁹.

Las variables observadas durante estudios de campo en zonas contaminadas, definen tres alternativas de análisis¹⁰.

1.- Contaminar artificialmente aislamientos nuevos y enseguida probarlos.

2.- Instalar aisladores pilotos en áreas contaminadas durante cierto tiempo y probarlos cuando hayan recibido -- determinado grado de contaminación.

3.- Colocar aisladores en operación normal en los sitios de mayor contaminación, y seguir continuamente las -- variaciones de sus parámetros eléctricos.

La contaminación artificial se consigue usando los siguientes métodos adoptados internacionalmente (Norma IEC507)¹¹.

a) Niebla salina

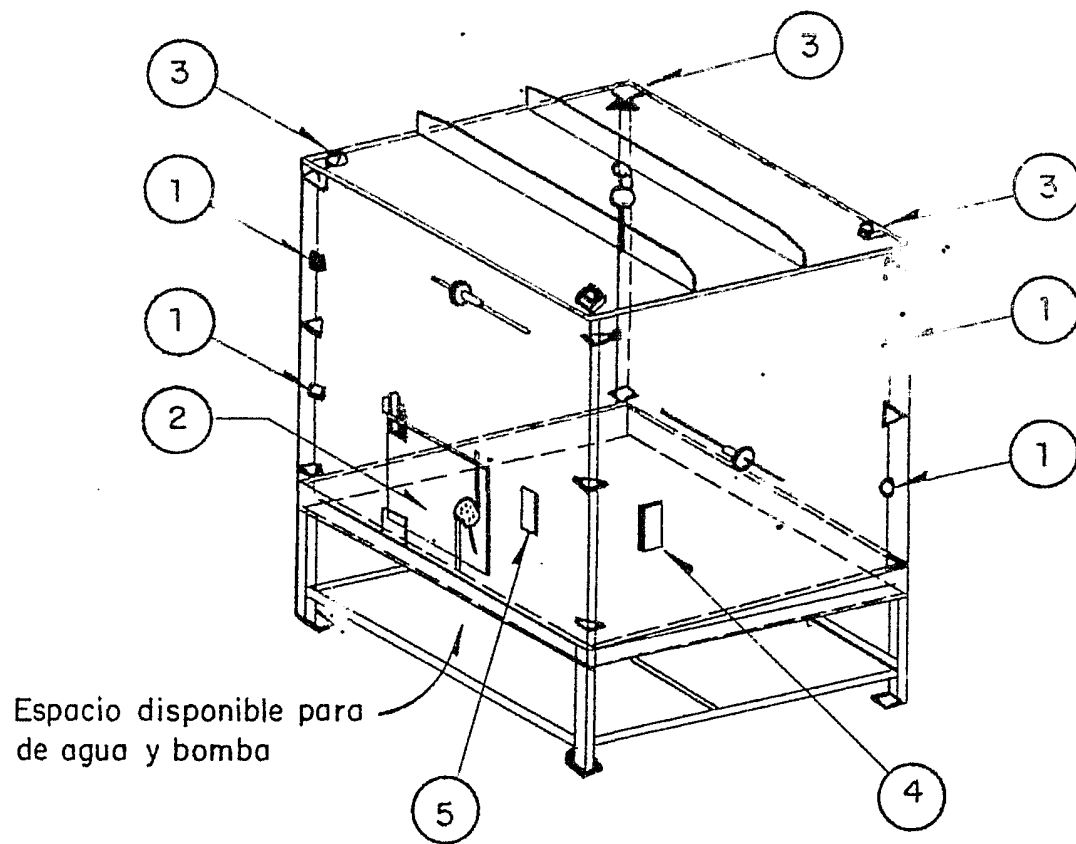
b) Capa contaminante sólida

a) Niebla Salina.- El equipo más comunmente utilizado es la cámara de niebla pues es especialmente útil cuando se prueban aisladores a base de resinas sintéticas. Mediante estas pruebas se pueden comparar sus valores de contaminación soportada y tensión de flameo contra aisladores probados en campo, en particular porcelana.

Los resultados permiten mejorar los diseños, modificando la forma, el acabado superficial ó la formulación de resinas.

Cámara de niebla.- La cámara de niebla descrita a -- continuación fue diseñada, construída y utilizada por IIE, se muestra en la figura (4.3.1.)

Esta hecha de acrílico. Sus dimensiones son menores que los recomendados por la publicación¹¹ IEC 507, por razones de corto espacio y versatilidad.



NOTA : Dimensiones generales de la cámara , 1.870 x 1.870 x 2.520 mm

1	Atomizador de aire y agua
2	Puerta de acceso
3	Distribuidor de agua y aire
4	Colector de aire con 8 válvulas de agujas
5	Colector de agua con 8 valvulas de agujas

Fig. (4.3.1) Cámara de Contaminación artificial del IIE, en Palмира, Mor.¹⁴

Al frente de la cámara se tiene una puerta de acceso con cerradura de acrílico, a excepción de la base, la cámara no contiene ningún elemento mecánico.

Los ocho atomizadores que genera la niebla se apegan a lo especificado en la publicación referida. Su altura es ajustable.

La niebla se genera de una solución de conductividad conocida. La niebla al condensarse es recuperada por desnivel y recirculada a los atomizadores. Los flujos de aire y solución son controlados a la entrada de la cámara¹². El aislador bajo prueba se conecta a través de un pasamuro en el techo o en una pared lateral, para probarse en posición horizontal o vertical.

Las pruebas requieren de una fuente de corriente alterna a la frecuencia industrial (60 Hz) y tensión regulable. La fuente usada en este trabajo se muestra en la fig. (4.3.2.) . La observación de la corriente de fuga en el aislador se realiza a través de una impedancia de medición en serie con la conexión a tierra. La tensión aplicada se mide con un voltmetro de valor eficaz -- conectado a un transformador de potencial. El control de las variables implicadas durante las pruebas (corrientes de fuga, tensiones de flameo, conductividad superficial, etc.), se efectúa colocándolos de una manera convencional y energizarlos con un mínimo de riesgo para el -- equipo y el personal de investigación; las boquillas se alimentan con soluciones salinas de concentración conocida; esta solución es de agua potable y sal comercial.

Procedimiento de Prueba.- El aislador se limpia de

Al frente de la cámara se tiene una puerta de acceso con cerradura de acrílico, a excepción de la base, la cámara no contiene ningún elemento mecánico.

Los ocho atomizadores que genera la niebla se apegan a lo especificado en la aplicación referida. Su altura es ajustable.

La niebla se genera de una solución de conductividad conocida. La niebla al condensarse es recuperada por desnivel y recirculada a los atomizadores. Los flujos de aire y solución son controlados a la entrada de la cámara¹². El aislador bajo prueba se conecta a través de un pasamuro en el techo o en una pared lateral, para probarse en posición horizontal o vertical.

Las pruebas requieren de una fuente de corriente alterna a la frecuencia industrial (60 Hz) y tensión regulable. La fuente usada en este trabajo se muestra en la fig. (4.3.2.) . La observación de la corriente de fuga en el aislador se realiza a través de una impedancia de medición en serie con la conexión a tierra. La tensión aplicada se mide con un vóltmetro de valor eficaz -- conectado a un transformador de potencial. El control de las variables implicadas durante las pruebas (corrientes de fuga, tensiones de flameo, conductividad superficial, etc.), se efectúa colocándolos de una manera convencional y energizarlos con un mínimo de riesgo para el equipo y el personal de investigación; las boquillas se alimentan con soluciones salinas de concentración conocida; esta solución es de agua potable y sal comercial.

Procedimiento de Prueba.- El aislador se limpia de

T.A. = Transformador de alimentación
 R = Regulador
 T = Transformador

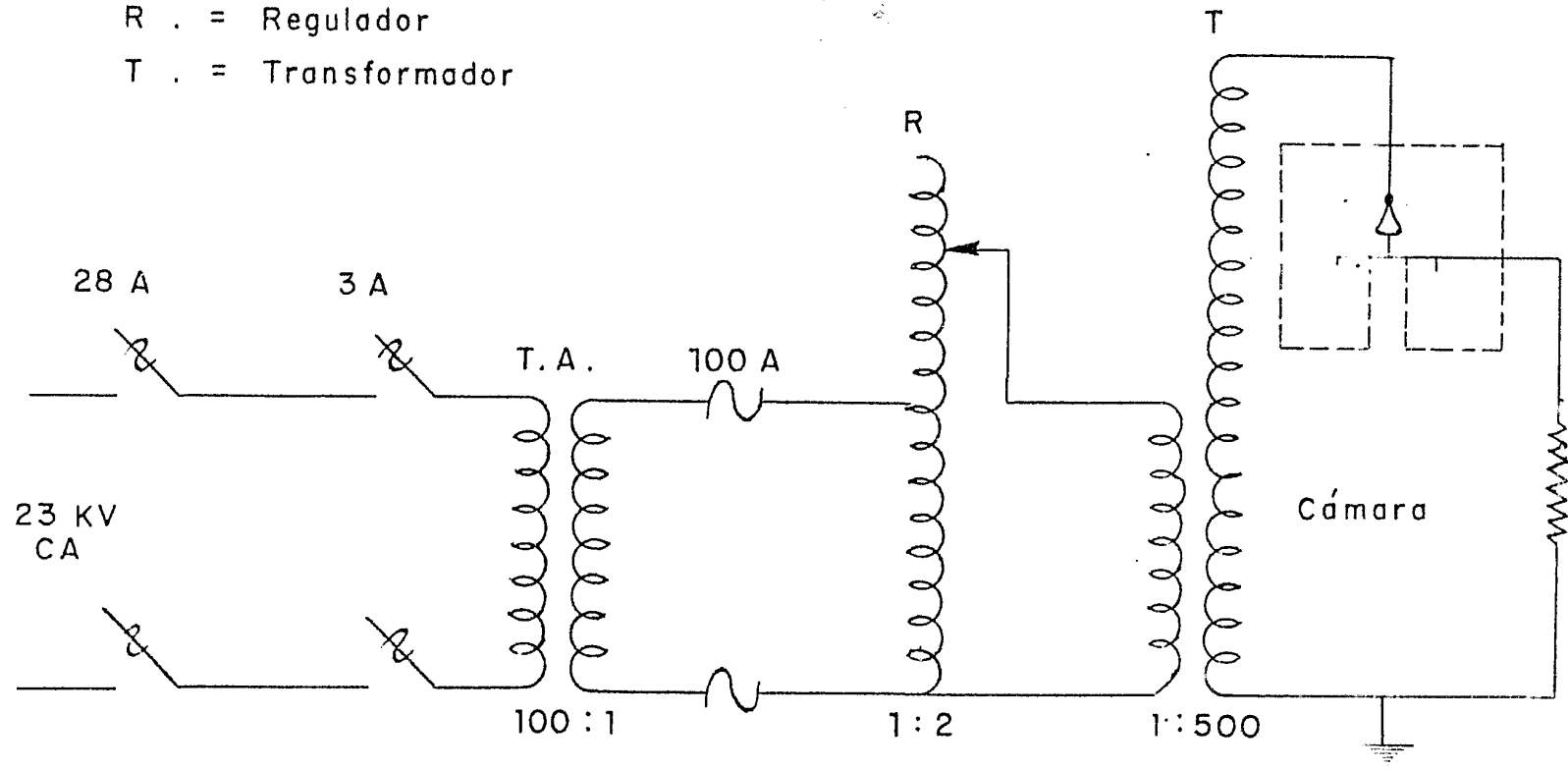


Fig. (4.3.2) Conexiones eléctricas de la fuente de tensión regulable para pruebas en el laboratorio de Modelos del IIE¹⁴

grasas y suciedad con agua y jabón inerte. La cámara de niebla se limpia con una solución de fosfato trisódico. Y por último antes de la prueba se humedece completamente el aislador con agua destilada.

Brevemente descrita, una prueba de contaminación comienza con un período de observación de la conductividad superficial y corrientes de fuga del aislador que varían proporcionalmente conforme se deposita solución salina en su contorno (método a) o se humidifica la capa contaminante sólida de composición conocida y previamente aplicada (método b)¹³.

Fundamentos de las Pruebas

Mecanismo de Falla en Contaminación

El flameo de un aislador que opera bajo contaminación ocurre al cubrirse superficialmente por una capa de baja resistividad. Si la contaminación depositada es sólida (desechos industriales), será necesaria la presencia de humedad para establecer en ella un camino conductivo.

Cuando un aislamiento contaminado húmedo se somete a potencial, se suceden en él las siguientes reacciones; la capa de baja resistividad toma elevada corriente de fuga. El efecto calorífico debido a esta corriente tiende a secar algunas áreas del contaminante con ello se incrementa la resistividad en esas áreas, aumentando también la potencia disipada, originando que se formen bandas secas alrededor del aislador.

Comienzan entonces a observarse arcos a través de dichas bandas, debido a la concentración de esfuerzos dieléctricos en ellas. La corriente resultante extiende el fenómeno a otras zonas del aislador.

Las descargas a través de las bandas secas tienden a extinguirse cuando el potencial aplicado cruza por cero.

Si el esfuerzo eléctrico y la corriente son altos, cubren la longitud total del aislador, y se produce el flameo.

Modelo Descriptivo.

Durante la operación de un aislador en condiciones de contaminación, los parámetros de mayor influencia son su conductividad superficial y la distribución del contaminante. La conductividad superficial de un aislador está dada por la expresión

$$\delta = \delta_m \times f.f.$$

δ = conductividad superficial

δ_m = conductividad de la capa contaminante

f.f. = factor de forma

En esta ecuación el factor de forma es un escalar que pondera la distancia total de fuga y la configuración del perfil aislante, esto es, el diseño mismo del aislador se define mediante la relación:

$$f.f. = \int_0^L \frac{dL}{b(L)}$$

dL = elemento de Longitud

donde L = distancia de fuga total

b(L) = π D(L), perímetro aislante

D(L) = diámetro en el elemento dL

Experimentalmente se ha comprobado⁹ que la variación -- de la tensión de flameo al variar la contaminación obedece a una ley exponencial de la forma:

$$E = k \delta^{-p}$$

donde E = tensión de flameo

δ = conductividad del contaminante

p = constante dependiente del perfil y material del aislador.

k = constante de proporcionalidad

Durante las pruebas con niebla salina se puede considerar una distribución uniforme de la capa contaminante -- quedando por lo tanto la conductividad media superficial -- del aislador bajo prueba, directamente proporcional a la -- concentración salina que origina la niebla, llamada salinidad. La relación anterior puede escribirse como:

$$E = m S^{-n}$$

donde E = tensión de flameo
 S = salinidad de la solución
 m, n = constantes

si se duplica una salinidad de una prueba a la siguiente;
 $S' = 2S$, la variación en la tensión de flameo será:

$$\frac{E'}{E} = \frac{m(2S)^{-n}}{mS^{-n}} = 2^{-n}$$

$$E' = \frac{E}{2^n}$$

Los estudios realizados a la fecha por otros investigadores reportan los valores de las constantes m y n para aisladores de porcelana tipo suspensión, de diversas configuraciones. Para tener una estimación numérica de la ecuación anterior, se puede tomar un valor promedio para n de entre los reportados⁹.

$$n = 0.2 \quad E' = \frac{E}{2^{0.2}} = 0.87E$$

La disminución en la tensión de flameo es de 10 a 15% al duplicar la salinidad de una prueba a otra¹⁴.

Método Experimental

Los estudios en cámara de niebla salina de dos aisladores orgánicos se plantearon para satisfacer tres diferentes objetivos:

1) Determinar la salinidad máxima soportada a la tensión nominal de diseño, conforme al procedimiento normalizado

IEC 507

2) Obtener las curvas características de falla (flameo) de los aislamientos para diversos grados de contaminación salina.

3) Bajo iguales condiciones de prueba, determinar la probabilidad de falla con dos aisladores de la misma configuración.

En cada caso, fue probado un aislador de porcelana con fines comparativos.

1.- Salinidad Máxima Soportada

Se selecciona una concentración salina normalizada¹¹ que se atomiza en la cámara durante los primeros 20 minutos, con el aislamiento energizado a tensión nominal. Si transcurrido dicho periodo no ocurre ningún flameo, se preconditiona el aislamiento mediante cuatro flameos, a cuyo término se limpia la superficie aislante para después correr 3 pruebas, de una hora -- cada una, a la tensión nominal y la salinidad seleccionada. Si una prueba falla, el aislador debe pasar satisfactoriamente una cuarta prueba a la misma salinidad.

Si el aislador supera o no lo especificado en el párrafo anterior, se prueba en salinidades arriba o -- abajo de la seleccionada inicialmente, hasta encontrar la salinidad máxima soportada.

2.- Curvas Características de falla.

La concentración salina de referencia se atomiza en la cámara durante los primeros 20 minutos, con el aislamiento energizado a tensión nominal. Si transcurrido dicho período el aislador no falla, se incrementa en forma escalonada la tensión en pasos de 10% cada 5 minutos, hasta obtener el primer valor de la tensión de flameo. Se restablece de inmediato la tensión hasta el 90% de la tensión de flameo, por espacio de 5 minutos. Los incrementos posteriores serán de 2.5% cada 5 minutos, hasta el flameo¹⁴.

Con el procedimiento descrito, se obtienen un total de 4 valores de tensión de flameo para cada aislamiento, a fin de calcular un promedio representativo.

3.- Probabilidad de Falla.

La finalidad de este prueba es establecer la probabilidad de falla entre dos aislamientos simultáneamente sometidos a niebla salina.

Tanto el montaje de los prototipos como el procedimiento mismo no están normalizados. Se diseñan en función del criterio de investigación. El arreglo de los aisladores para esta prueba se hizo sujetándolos a un espejo común de tierra, que simula el montaje de la cruceta, se conectan mediante dos electrodos de potencial idéntico, amarrados a cada aislador de manera convencional. Fig. (4.3.3).

Las pruebas se llevaron a cabo siguiendo dos procedimientos:

a) Partiendo desde cero en la tensión aplicada e incrementando a razón constante hasta la falla.

b) Mediante la aplicación súbita de una tensión de falla prefijada.

En ambos casos se permitió la recuperación dieléctrica de la superficie contaminada mediante períodos de 5 minutos sin tensión después de cada flameo.

El circuito eléctrico usado para esta prueba se muestra en la Fig. (4.3.4).

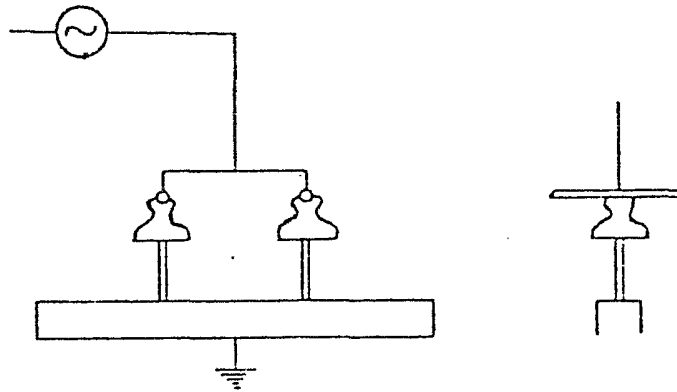


Fig (4.3.3) Preparación de los aisladores para prueba de probabilidad de falla¹⁴

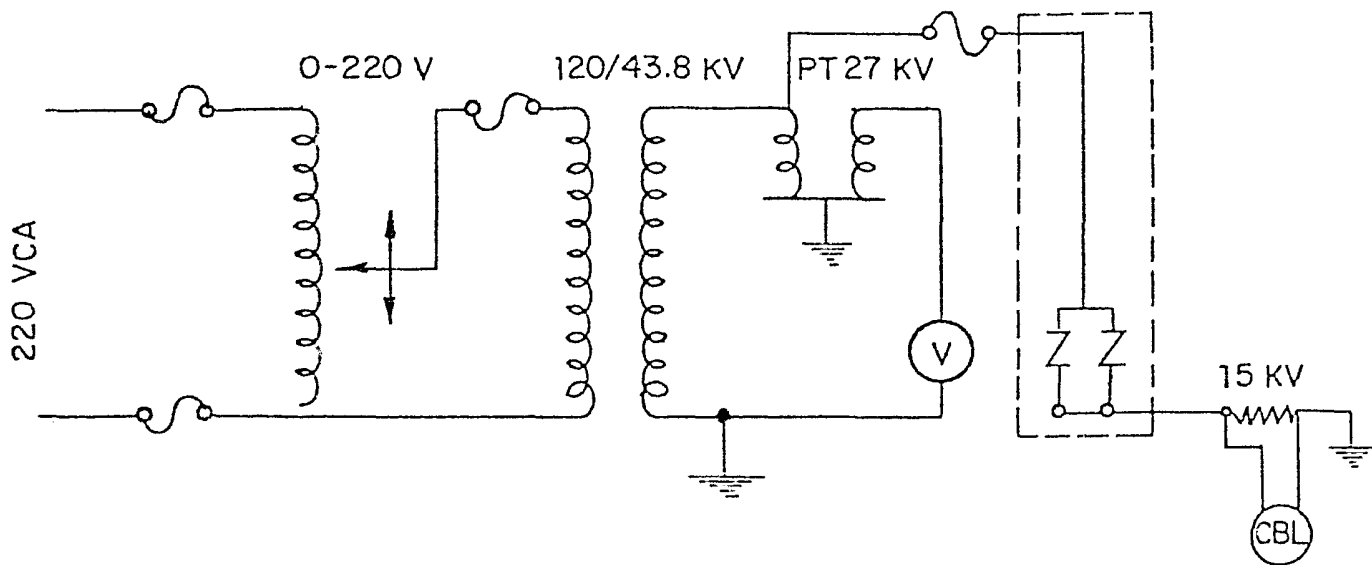


Fig (4.3.4) Conexiones eléctricas para la prueba de probabilidad de falla

4.3.1. resultados de estudios en México.

Los resultados así como los métodos de prueba se realizaron en el I.I.E. .

Salinidad máxima soportada.

En esta modalidad se probaron aisladores tipo alfiler, clase NEMA 55-4. Pasaron satisfactoriamente evaluaciones en concentraciones salinas de 7, 40 y 240 Kg/m³ de sal común en agua, correspondiendo esta última a la máxima concentración de prueba normalizada³.

Curvas Características de falla

Para esta evaluación se usaron aisladores de Polisil, fabricado con dos diferentes formulaciones, y en clase NEMA 56-2, y 55-4.

Las salinidades de referencia para las pruebas se escogieron de tal forma que la curva característica abarcara el rango estipulado en la Publicación IEC 507, generando los valores de la progresión geométrica $S' = 45$ esto es; $S_1 = 2.5$, $S_2 = 10$, $S_3 = 40$ y $S_4 = 160$ Km/m³.

Los resultados se muestran en las gráficas (4.3.1) y (4.3.2).

4.4 Prueba de " tracking "

Esta prueba según el IIE es la IEC - 587 - 1977 y tiene correlación con la prueba ASTM D132, pruebas de polvo y niebla, y con la prueba ASTM D2302, índice diferencial

Fig (4.3.2) Gráfica de Resultados para aislador 55-4

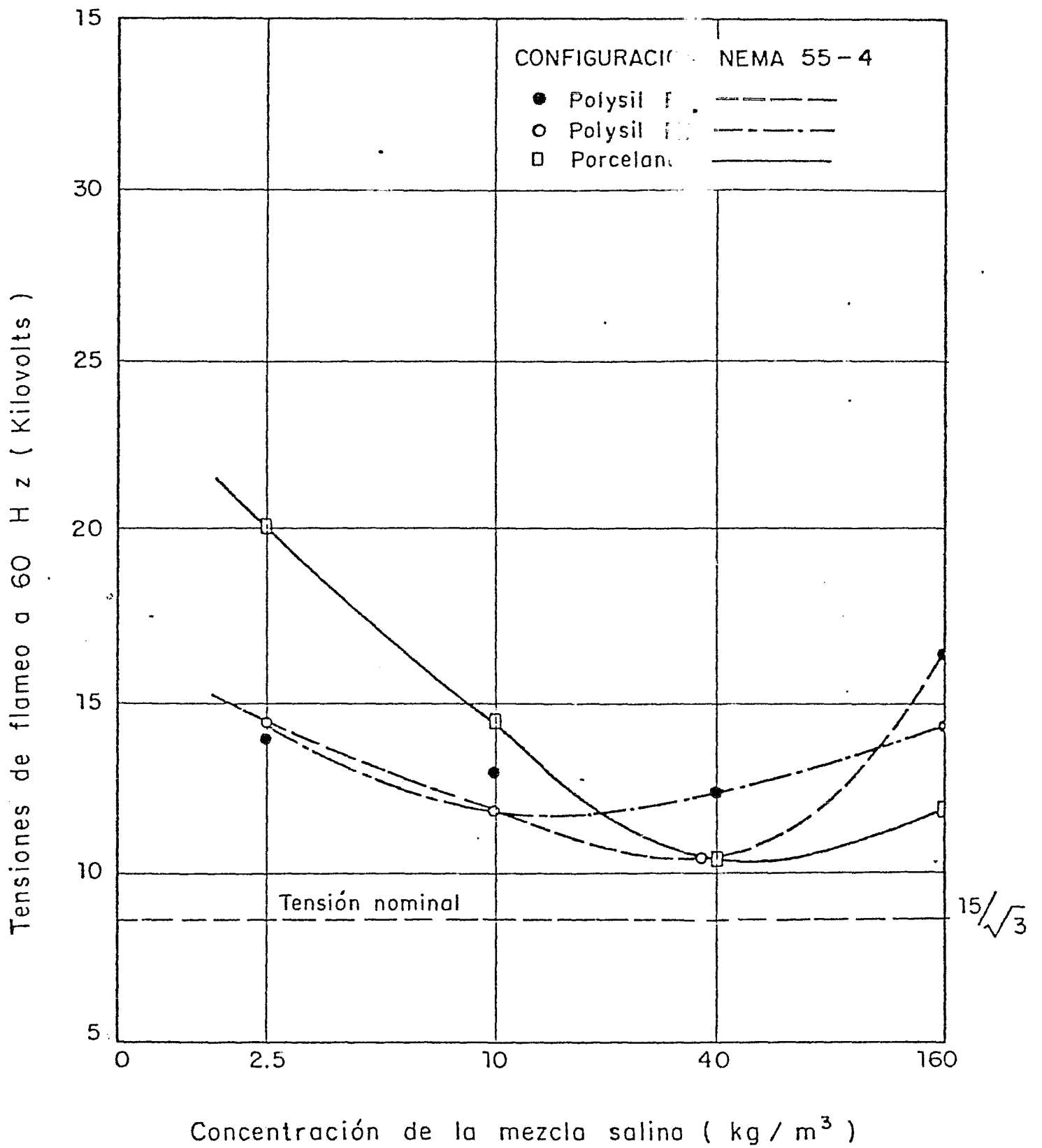
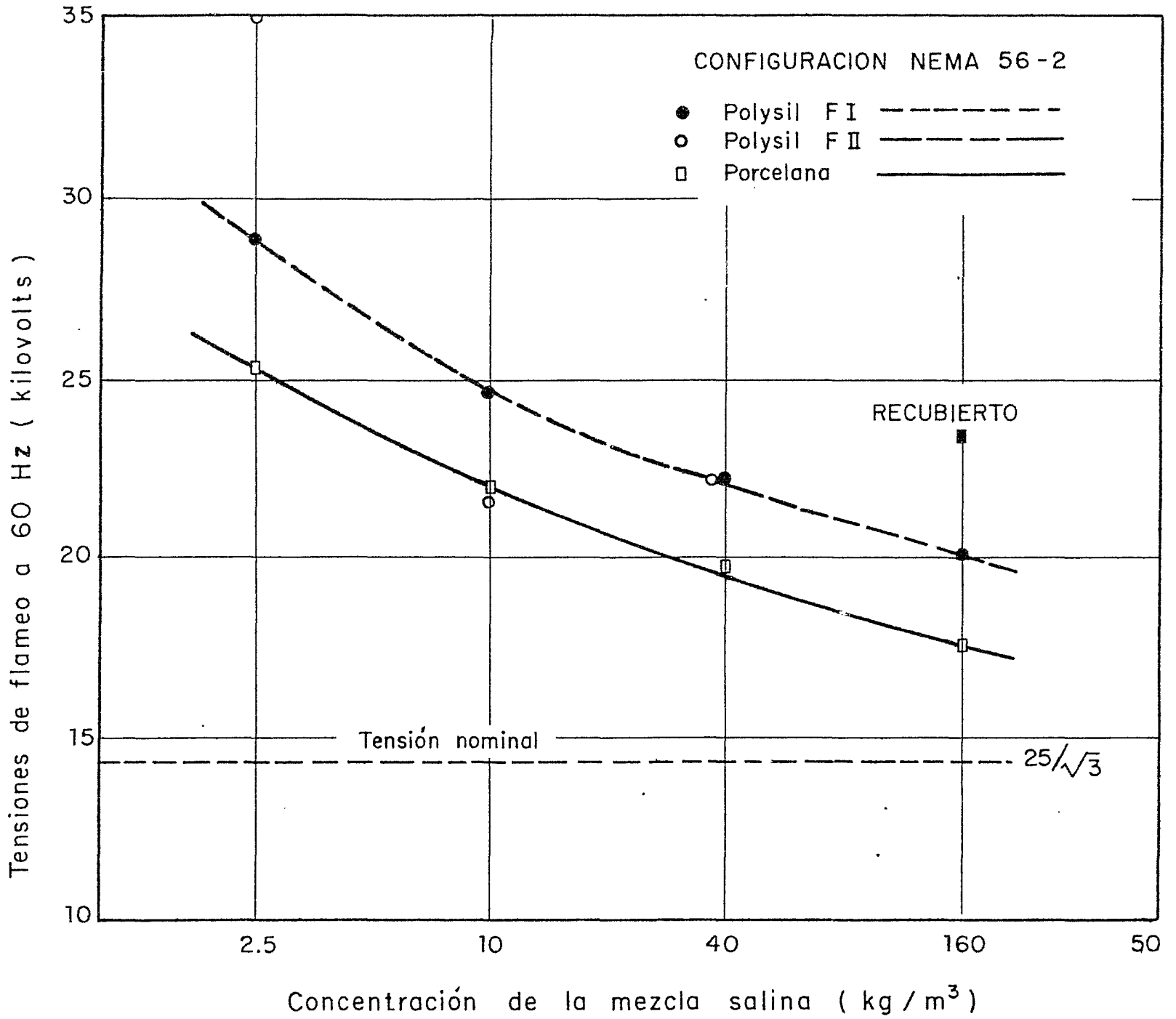


Fig. (4.3.1) Gráfica de Resultados para aislador
56 - 2



de "traking" húmedo.

Esta prueba llamada de "traking" plano inclinado fue considerada, porque el material orgánico tiene la desventaja de tener una tendencia a carbonizarse bajo los efectos térmicos del arco eléctrico. En los aislantes externos adquiere graves proporciones debido a los efectos combinados del campo eléctrico y la contaminación salina o industrial, lo que ocasiona el deterioro del material propiciando a las condiciones adecuadas para la formación de pequeños arcos, los que se estabilizan en áreas localizadas del material. --

El sistema de prueba considera que los materiales que no pasan la prueba del nivel más bajo de tensión aplicada, 2.5 KV, no tienen ninguna posibilidad para ser usados como aislamiento externo; las resinas epóxicas y en algunos casos el poliéster, han demostrado gran resistencia al "tracking", a un máximo nivel de tensión de prueba de 4.5 KV³.

5.7 Viabilidad de su Fabricación Nacional

La industria de transmisión de potencia en Alto Voltaje de México se ha desarrollado a través del uso de aisladores de porcelana suministrado por compañías nacionales e internacionales.

En el presente la calidad de los aisladores de porcelana es reconocida no solamente en México sino en todo el mundo también.

La industria de la porcelana en México data desde el siglo 16 y su desarrollo se ha venido fortaleciendo con los años; y es por eso que para cierto tipo de aisladores como los de "tipo alfiler", 55.4 y 56.2 no se requiere que sean de importación. Conforme ha crecido la capacidad instalada; la demanda de aisladores presenta una tendencia semejante, fig. (5.1.0)a,b) un aislador de poliester puede tener una buena oportunidad en el mercado nacional y mas tarde la aceptación de su uso en otros países porque existe una demanda continúa y necesaria.

En México se cuenta con reservas de hidrocarburos suficientes para desarrollar la industria de las resinas, y aunque por el momento se importan algunas de ellas, es factible que los aisladores de porcelana sean substituidos, por los de poliester por su bajo costo de fabricación.

En ciertas aplicaciones los aisladores requieren un material de calidad especial ya sea porcelana o vidrio; pues éste debe ser elaborado cuidadosamente para prevenir

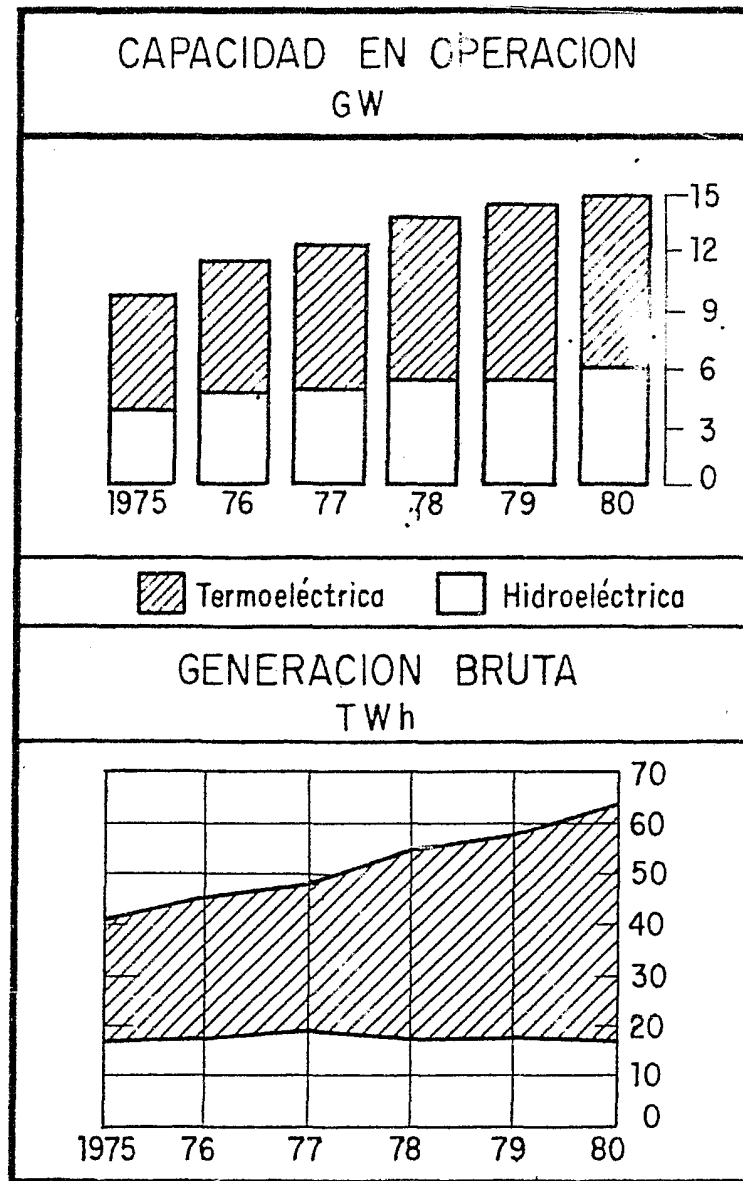


Fig. (5.1) a) Gráficas de demanda de Energía Eléctrica Nacional.

CAPACIDAD EN OPERACION

GW

AÑO	HIDROELECTRICA	TERMoeLECTRICA	TOTAL
1975	4.0	5.8	9.8
1976	4.5	6.9	11.4
1977	4.7	7.4	12.1
1978	5.2	8.8	14.0
1979	5.2	9.1	14.3
1980	6.0	8.6	14.6 1/

1 GW = 1 000 MILLONES DE KW

GENERACION BRUTA

TWh

1975	15.0	25.9	40.9
1976	17.1	27.5	44.6
1977	19.0	29.9	48.9
1978	16.1	36.9	53.0
1979	17.8	40.3	58.1
1980	16.7	45.2	61.9 2/

1 TWh = MIL MILLONES DE KWh

1/ En 1980 se indica la potencia real disponible al 31 de Diciembre en los años anteriores se reportó la suma de las capacidades de placa de las unidades generadoras.

2/ Durante los meses de Jun, Jul y Ago de 1980, se hicieron restricciones al suministro de energía por 538 GWh por falta de capacidad en el sistema eléctrico, los que deberán ser tomados en cuenta cuando se trate de calcular tendencias.

RESUMEN DE ADQUISICIONES DE AISLADORES DE PORCELANA REALIZADOS EN LOS AÑOS 1977 A 1982

AÑO	N A C I O N A L		I M P O R T A C I O N	
	CANTIDAD	IMPORTE	CANTIDAD	IMPORTE
1977	1'271,201 Pz	45,738.653	164,220 Pz	31'752.301
1978	2'046,913 "	76'398,570	140,786 "	49'949,557
1979	1'771.332 "	165'519,358	1'503,880 "	242'920,851
1980	2'093,108 "	182'966,520	1'454,093 "	120'985,981
1981	4'559,832 "	553'052,439	807,582 "	221'495,153
* 1982	310,148 "	127'782,300	66,523 "	44'280,679

76

* LOS DATOS DE 1982 SON A SEPTIEMBRE

Fig. (5.1) b) Adquisiciones de Aisladores de Porcelana Nacional y de Importación.

cualquier daño en la línea, por perforación del aislador.

Generalmente estos aisladores son construidos con vidrio templado. El aislador de vidrio se destruye completamente cuando en el aislador de porcelana se origina la perforación.

Una perforación en el aislador es imposible de detectar a simple vista. ("desde tierra" hasta la línea). Los aisladores a menudo son usados como blanco por cazadores. Por lo tanto la fuerza de impacto estipulada para aisladores de suspensión, debe actuar como garantía contra la interrupción de la energía por esta acción; y los aisladores de vidrio cumplen muy satisfactoriamente con ella.

Los aisladores tipo suspensión fabricados con vidrio templado que se usan en las líneas de transmisión mexicanas son de importación; y esto representa una fuga de divisas.

El estudio de estos aisladores fabricados en poliester se esta desarrollando. Aunque el material presenta ventajas similares al vidrio, éste tipo de aisladores consta de una capucha de acero forjado que es fijada a la campana en el aislador, esto se logra por medio de cemento, que aguza la influencia en el esfuerzo mecánico y la durabilidad del aislador.

En el aislador de poliester se ha presentado la necesidad de usar pegamento.

El pegamento puede presentar por variaciones de temperatura una expansión y un cambio en sus propiedades químicas; puede tener efectos negativos con respecto a radio interferencia, aceleración de la contaminación y un cambio en la resistencia al impacto.

Es un tema muy extenso a desarrollar dada la gran variedad de formulaciones que se pueden crear; hasta encontrar un pegamento óptimo no se pueden completar los estudios.

Por último, los aisladores para niebla tipo alfiler son aisladores que se usan en áreas de contaminación -- severa: Su superficie comparada con el tipo normal -- está más expuesta, aunque puede mantenerse limpia por la acción natural de la lluvia. El diámetro uniforme a lo largo de la distancia de fuga es importante fig -- (5.2); por lo tanto el diseño de la forma del aislador es muy representativo y como ya dijimos, el poliester no presenta dificultades en ese aspecto. Estos aisladores también se encuentran bajo estudio; de lograr resultados tan buenos como los aisladores tipo alfiler 55.4 y 56.2 representarían un ahorro en el pago de regalías por su fabricación.

Los precios al mercado no están necesariamente ligados en forma proporcional a los costos de fabricación -- sin embargo da una idea de la competitividad del producto.

Dadas las dificultades presentadas para obtener los datos precisos de los costos de fabricación de los aisladores, se presentará una tabla donde los precios al público, son indicados en forma comparativa con el fin --

Tipo Niebla

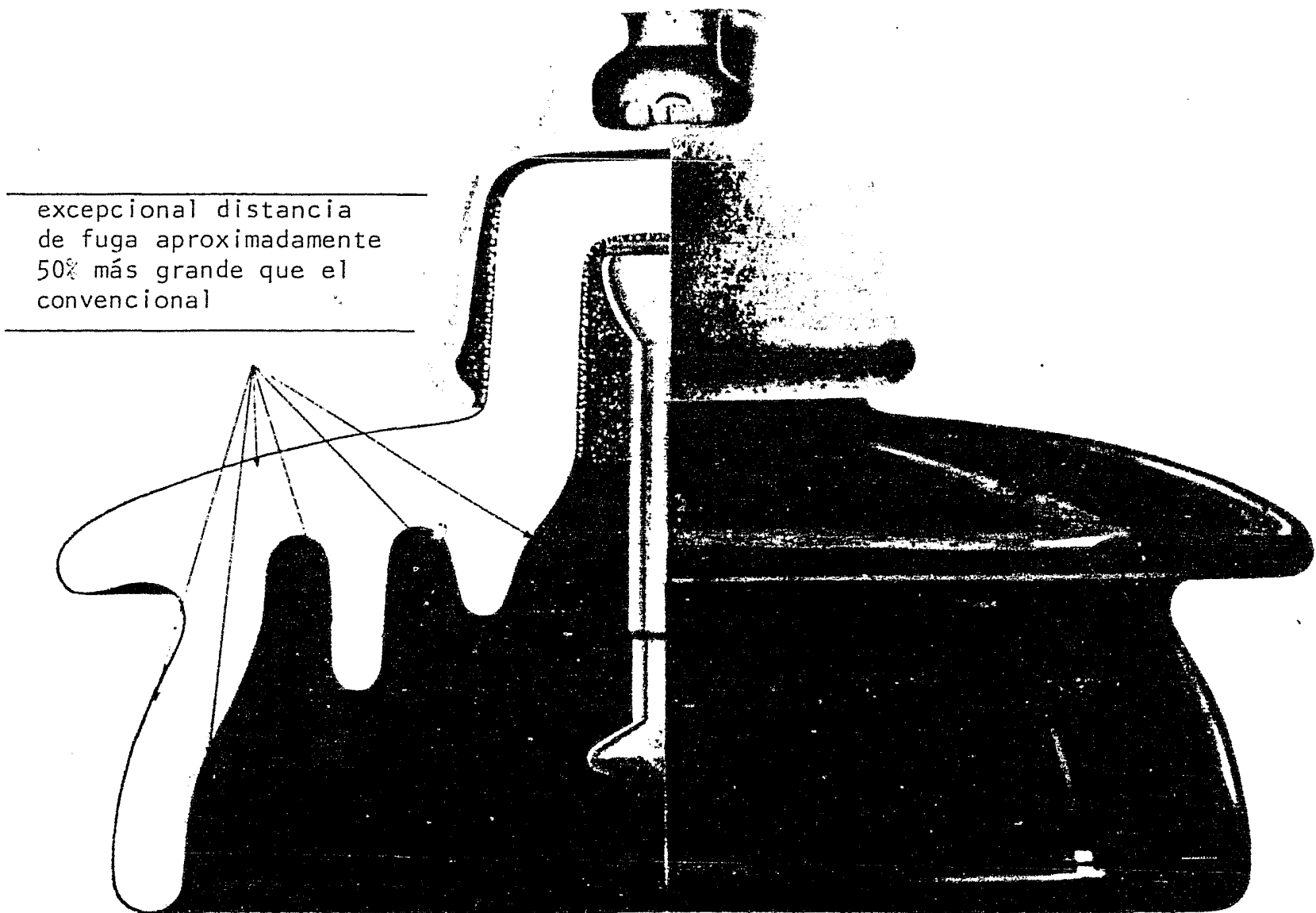


Fig. (5.2) Aislador tipo niebla (Fog Type)¹⁵

de observar que tan competitivo es actualmente un aislador de poliester con respecto a uno de porcelana*.- - tabla (5.1.).

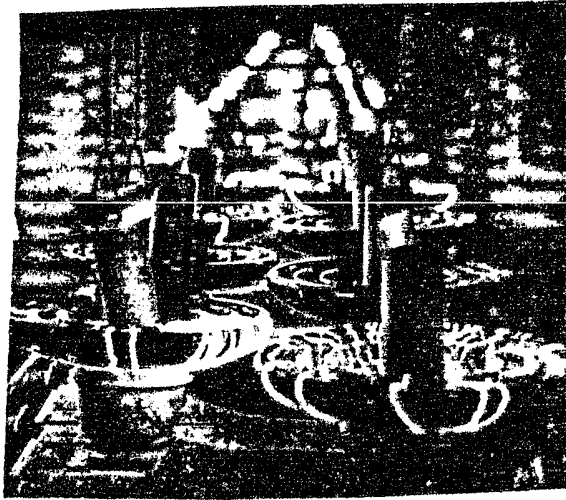
*Esta tabla es con respecto a aisladores de poliester - con proceso de fabricación de inyección.

A I S L A D O R E S T I P O V S A I S L A D O R E S P O R C E L A N A

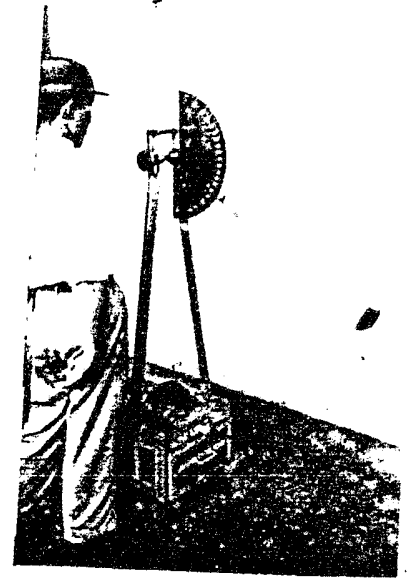
DESCRIPCION Y TIPO AISLADOR	MILLAR DE PIEZAS AL AÑO	KG/PZA	**COSTO TOTAL	PRECIO UNI- TARIO AL PUBLICO PORCELANA	VALOR TOTAL
CLASE 52-3 SUSPENSION	50	2.4	-----	-----	-----
CLASE 52-5 SUSPENSION	40	2.8	-----	-----	-----
CLASE 55-3 ALFILER	20	1.0	403.6	105.60	1'408.0
CLASE 55-4 ALFILER	80	1.1	1'775.2	165.60	8'832.0
CLASE 55-5 ALFILER	15	2.4	726.2	265.80	2'658.0
CLASE 56-1 DOBLE CAMPANA	15	3.7	1'119.7	391.08	3'910.8
CLASE 56-2 DOBLE CAMPANA	40	4.4	3'550.4	668.96	17'838.4
CLASE 56-3 DOBLE CAMPANA	10	5.6	1'129.8	768.36	5'122.4
CLASE FBPI-34-5	10	7.0	1'412.3	-----	-----
<u>T O T A L E S</u>			<u>\$ 10'117.2</u>		<u>\$ 39'769.6</u>

** Unicamente es materia prima, no incluye gastos ni de fabricación, ventas, administración, etc.

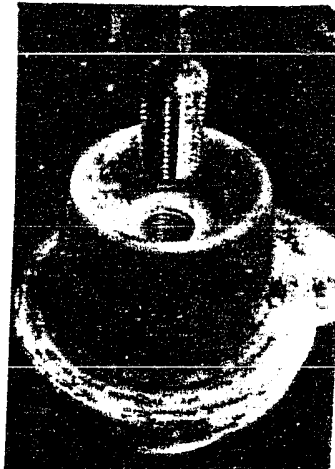
Prueba de Rutina



Prueba Mecánica



Inserción del alfiler



6.- Conclusiones

No hay nada más diferente que la ciencia y el arte. La ciencia es racional, objetiva, una tranquila investigación de la naturaleza; el arte es subjetivo, un destello irracional de los sentimientos. Pero también se pueden ver los descubrimientos científicos como productos de la imaginación, como chispas o percepciones repentinas, mientras que algunas veces el arte es, por el contrario, el producto de un trabajo asiduo, al que se le agregan cuidadosamente elementos después de una sucesión de reflexiones racionales.

La ciencia es el fundamento de la técnica; el arte contribuye a una apreciación más profunda de nuestra existencia y además ayudarnos en nuestra condición humana.

Esta revisión del estado del arte en aisladores fabricados con poliester pretende ser un camino de acercamiento integral entre la ciencia y el arte, para concluirlo podemos agregar que la experiencia en campo de los aisladores sintéticos y el apoyo que se dé para su instalación será finalmente la prueba determinante para su uso en años posteriores.

Sobre la viabilidad de su fabricación nacional hay diversos aspectos a discutir:

El primero es el costo total de la fabricación de un aislador es decir con el costo de producir las resinas.

El segundo aspecto es otra consecuencia económica importante. Se pueden diseñar torres más ligeras y aumentar la distancia entre torres, especialmente en muy alta tensión. Esto es debido principalmente al peso.

Otro aspecto es el proponer diferentes diseños en los conductores, dado que hay pruebas que sobrepasan por mucho los valores de norma.

Todos estos aspectos por demás interesantes proponen un estudio más riguroso que el que se tiene y requiere de que el fabricante sea estricto en cuanto a sus formulaciones, cosa que a veces no resulta en la realidad.

La ayuda entre el fabricante y el laboratorio, y la ayuda que preste el comprador para su puesta en servicio y sus experiencias obtenidas en su uso es muy importante para lograr un buen estudio, cosa difícil de lograr más no imposible.

REFERENCIAS

1. Folleto Energía Nuclear C F E
2. Zoppetti G , Redes eléctricas, ed Gustavo Gili 1952
3. Boletín IIE abril 1980 vol 4 núm 4 pág 10
El fenómeno de Tracking y su importancia en la evaluación de los materiales aislantes orgánicos,
Rafael Mier Maza
4. Moleff T and Rodríguez, G D , " An overview of non Ceramic Insulation" Paper presented at the Pacific Coast Electrical Association Engineering and Operating Sección Annual Conference, San Diego, May 17 - 19, 1978
5. Karady G and Lamontagne G , "Electrical and Contamination Performance of Synthetic Insulators for 735-KV Transmission Lines" , IEEE paper A 76 502-5 presented at the 1976 Power Engineering Society Summer Meeting, Portland, OR, July 18 - 23, 1976
6. Sansores A and Mier R , "Nueva tecnología en la fabricación de Aislamientos Sólidos y su Aplicación en la Industria Eléctrica", IEE, Indael Junio 24, 1982
7. Perez-Allende R , "Sistema Productivo para la fabricación de Aisladores a base de Resinas Poliester", Industrias Lain, S A
8. R Ramos, L P Grijalva, L R Talamás, "El problema de la contaminación de Aisladores", IEEE - MEXICON, 1979 pap T - 161 pp 80 - 84

9. Sforzini M , "Testing of polluted insulators the present situation and problems of the future", Symposium on Testing of Power Apparatus and Systems operating in the megavolt range, University of Manchester, 1971
10. Camarena F A, "La contaminación en aislamientos externos", Boletín IIE, vol 2, núm 12, 1978
11. Artificial pollution test on High voltage insulators to be used on a.c. systems". Norma IEC 507, 1975
12. Lambeth P J, Leroy G, et al, "The salt fog artificial pollution test" CIGRE 1968, pap 25 - 08
13. Patlán J, Camarena F, "Estudios de contaminación artificial en aislamientos externos" IIE Boletín Vol 4, Num 4, Abril 1980
14. Paltán O, Camarena F, Mier-Maza R, Martineck J, "Estudios de contaminación artificial en aisladores orgánicos para intemperie" IIE ponencia. MEXICON 80, memoria, tomo III, Ingeniería de potencia pág 64 - 67
15. N G K Insulators, Caralog Number 60

