

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**CAMBIO DE ACCESORIOS DE SUJECCIÓN DE CADENA
DE AISLADORES CON LINEA ENERGIZADA EN REDES DE
ALTA TENSIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

HUBER ELISEO BERRIO FLORES

**PROMOCIÓN
1995 - I**

**LIMA – PERÚ
2005**

**CAMBIO DE ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE CADENA DE
AISLADORES CON LINEA ENERGIZADA EN REDES DE ALTA TENSIÓN**

Dedico este trabajo a:
Mis padres, amor y reconocimiento eterno por
su buena formación impartida, ejemplo de lucha
Mis Hermanos, por su permanente apoyo.
Mi hermana Silvia, guía para mi logro profesional
Y mi amada esposa Telma y pequeño hijo
Hubert, Aliento constante de vida.

SUMARIO

El presente trabajo presenta una nueva modalidad de cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores (tipo porcelana) de suspensión lado estructura, con línea energizada de 220 kV, cuya necesidad de reemplazo es generada por el deterioro de los materiales afectados por corrosión. Asimismo la actividad propuesta considera el uso de herramientas de diseño propio y para tal fin se desarrollan instrucciones que establezcan condiciones de seguridad, aspectos medio ambientales, equipos, herramientas y método de trabajo.

En el Capítulo I, se hace una descripción de las condiciones medio ambientales locales de contaminación ambiental salina y elevada humedad en la costa, así como que es la corrosión su problemática, mecanismos y condiciones necesarias para que se produzca dicho fenómeno; todo ello que permita comprender el proceso de deterioro de los accesorios de sujeción de las cadenas de aisladores. Asimismo se da a conocer la Metodología de identificación de accesorios metálicos deteriorados por corrosión mediante la actividad de inspección minuciosa, que permitan determinar la necesidad de cambio o mantenimiento según sea el nivel de corrosión.

En el Capítulo II se presenta aspectos generales de mantenimiento del sistema peruano realizados con línea desenergizada, donde se explica el procedimiento tradicional de cambio de ferretería deteriorada por corrosión de cadena de aisladores de redes de alta tensión realizado en nuestro país

para dar una idea de comparación con la nueva metodología de intervención con línea energizada.

En el Capítulo III, explica el comportamiento del aislamiento en cadena de aisladores de alta tensión, la distribución de potencial en uno o mas aisladores en condición limpia y seca, que condiciones meteorológicas influyen en el aislamiento, tener una idea de la capacidad dieléctrica de los aisladores como resultado de ensayos de contorno en condición limpia seca o bajo lluvia. Sin embargo en la zona costera la condición de aisladores limpia seca solo se presenta luego de ser intervenido su aislamiento mediante limpieza manual o lavado, posteriormente se va deteriorando el aislamiento por efecto de la contaminación medio ambiental, por tal se describe las precipitaciones de los contaminantes y como se comporta la conductividad de los mismos con relación al incremento de la humedad relativa influyendo en la corriente de fuga y chisporroteo de los aisladores, asimismo como se determina el número de unidades de aisladores en zonas contaminadas. Con cuya información permita analizar las condiciones mas desfavorables del comportamiento del aislamiento de las cadenas de aisladores a fin de evitarlo como la humedad relativa y estado de contaminación por antigüedad del mantenimiento. Finalmente pueda determinarse que la reducción de un elemento de una cadena de aisladores no afecta la operatividad de la línea.

En el Capítulo IV se desarrolla el dimensionamiento de las distancias mínimas del aire en condiciones atmosféricas estándar y críticas, para determinar las distancias de seguridad mediante el cálculo de valor básico

en el rango $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$, los cuales se explican para determinar los valores básicos de distancia de seguridad para el cambio de accesorios de sujeción con línea energizada.

En el Capítulo V se define los trabajos con tensión, dando a conocer sus aportes, aspectos técnicos, distancias mínimas de seguridad y zona de trabajo en tensión, así como los métodos en tensión realizados a nivel mundial como los métodos a potencial, a distancia y en contacto; aspectos tomados para presentar el nuevo procedimiento de trabajo el que hemos denominado “Método a Potencial Cero”.

En el Capítulo VI se realiza la descripción del dispositivo y sus accesorios utilizados en el cambio de accesorios de sujeción con línea energizada de diseño propio, cuyo equipo principal hemos denominado “El Intercambiador de Ferretería” dando a conocer los criterios mecánicos e identificación de sus partes. Asimismo se describen los accesorios utilizados como tierra temporaria, pértiga, sistemas de soporte de pértiga, extractor de chaveta y sistema de apoyo para operario.

Finalmente en el Capítulo VII se presenta la metodología de intervención y utilización del dispositivo con línea energizada explicando consideraciones generales del Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector Electricidad de nuestro país, así como condiciones de aislamiento, distancias de seguridad, aspectos medio ambientales, equipos y herramientas, implementos de seguridad, personal requerido con el cual se desarrolla el nuevo método de trabajo. También se

muestra la construcción de una estructura metálica como laboratorio de capacitación en la Subestación Chimbote I y la aplicación del dispositivo en cambio de accesorios de sujeción con línea desenergizada..

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
PROCESO DE DETERIORO DE LOS ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE LAS CADENAS DE AISLADORES.	
1.1. Condiciones ambientales locales.	4
1.2. El problema de la corrosión.	5
1.3. La corrosión.	7
1.4. Mecanismo de la corrosión en el acero.	8
1.4.1. Reacción anódica.	9
1.4.2. Reacción catódica.	10
1.5. Condiciones necesarias para la corrosión de los accesorios de sujeción.	11
1.5.1. Diferencia de potencial.	11
1.5.2. Conexión entre electrodos.	12
1.5.3. Humedad.	12
1.5.4. Acceso de oxígeno al cátodo.	12
1.5.5. Falla de la película protectora.	12

1.5.6.	Corrientes de fuga por la cadena de aisladores.	13
1.6.	Factores de deterioro por corrosión.	13
1.7.	Metodología de identificación para el cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores.	14
1.7.1.	Actividad de inspección minuciosa.	14

CAPÍTULO II

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL DE CAMBIO DE FERRETERÍA

APLICADO EN NUESTRO MEDIO

2.1.	Aspectos generales del procedimiento.	19
2.1.1.	Trabajos en línea sin tensión.	20
2.2.	Método tradicional de reemplazo de ferretería de cadena de aisladores de suspensión de líneas de 220 kV.	20
2.2.1.	Frecuencia de intervención.	20
2.2.2.	Condición requerida.	20
2.2.3.	Condiciones medio ambientales.	20
2.2.4.	Equipos y herramientas.	20
2.2.5.	Implementos de seguridad.	21
2.2.6.	Personal requerido.	21
2.2.7.	Método de trabajo.	21

CAPÍTULO III

COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO EN LAS CADENAS DE

AISLADORES

3.1.	El aislamiento en cadena de aisladores.	25
------	---	----

3.1.1.	Distribución de la tensión en una cadena de aisladores limpia y seca.	25
3.1.2.	Comportamiento de un elemento de aislador.	25
3.1.3.	Comportamiento de una cadena de aisladores.	26
3.1.4.	Repartición de potencial en una cadena de aisladores.	27
3.2.	Condiciones meteorológicas que influyen en el aislamiento.	29
3.2.1.	Densidad relativa del aire.	29
3.2.2.	Humedad y condensación.	30
3.2.3.	La lluvia.	30
3.3.	Ensayos eléctricos de aisladores.	31
3.3.1.	Ensayo de contorneo.	31
3.3.2.	Ensayo de perforación.	32
3.4.	Tensión de contorneo entre los distintos elementos de una cadena de suspensión.	33
3.5.	Efectos de la humedad en una cadena de aisladores contaminada.	36
3.5.1.	Precipitaciones sobre la superficie de los aisladores.	36
3.5.2.	Efectos de la humedad.	38
3.6.	Corriente de fuga y chisporroteo en una cadena de aisladores contaminada.	39
3.7.	Determinación de la tensión de sostenimiento de aisladores contaminados.	41
3.8.	Determinación del número de unidades en cadena de aisladores de zonas contaminadas.	43

CAPÍTULO IV

DISTANCIAS MÍNIMAS EN EL AIRE Y DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA CAMBIO DE HERRAJES DE SUJECCIÓN.

4.1.	Dimensionamiento de distancias mínimas en aire.	57
4.1.1.	Dimensionamiento de distancias mínimas en aire para condiciones atmosféricas estándar. Rango $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$.	57
4.1.2.	Distancias mínimas en aire con referencia a condiciones atmosféricas extremas. Rango $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$.	61
4.2.	Distancias de seguridad.	69
4.2.1.	Calculo del valor básico.	70
4.2.2.	Determinación de la zona de seguridad.	70
4.3.	Distancias de seguridad para el cambio de accesorios de sujeción con línea energizada.	71

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL CAMBIO DE FERRETERÍA

5.1.	Trabajos con tensión.	79
5.1.1.	Definición.	79
5.2.	Aportes de los trabajos en tensión.	80
5.3.	Aspectos técnicos de los trabajos en tensión.	81
5.4.	Distancia mínima de seguridad.	82
5.5.	Zona de trabajo en tensión.	82
5.6.	Métodos de trabajos en tensión.	83
5.6.1.	Método a potencial.	84
5.6.2.	Método a distancia.	85

5.6.3.	Método en contacto.	87
5.6.4.	Técnicas de trabajos en tensión.	88
5.7.	Nuevo procedimiento de trabajo propuesto.	88
5.7.1.	Método a potencial cero.	89

CAPÍTULO VI

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO Y SUS ACCESORIOS PARA EL CAMBIO DE FERRETERÍA CON LINEA ENERGIZADA.

6.1.	Descripción del dispositivo y sus accesorios.	94
6.2.	El intercambiador de ferretería.	94
6.2.1.	Criterios mecánicos.	94
6.2.2.	Identificación de parte.	96
6.3.	Descripción de los accesorios.	98
6.3.1.	Tierra temporaria.	98
6.3.2.	Pértiga.	99
6.3.3.	Sistemas de soporte de pértiga.	100
6.3.4.	Extractor de chaveta.	101
6.3.5.	Sistema de apoyo para operario.	102
6.3.6.	Probador de Aisladores.	102

CAPÍTULO VII

METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO

7.1.	Generalidades.	104
7.2.	Método de reemplazo de las ferreterías de las cadenas de aisladores de suspensión con línea energizada 220 kV.	105
7.2.1.	Frecuencia de intervención.	105

7.2.2.	Condición requerida.	105
7.2.3.	Condiciones de aislamiento.	105
7.2.4.	Distancias de seguridad.	106
7.2.5.	Condiciones medio ambientales.	107
7.2.6.	Equipos y herramientas.	107
7.2.7.	Implementos de seguridad.	108
7.2.8.	Personal requerido.	108
7.2.9.	Método de trabajo.	108
7.3.	Construcción de una estructura para capacitación.	112
7.4.	Otras ventajas de utilización del nuevo dispositivo.	112
7.5.	Ventajas de nueva metodología y utilización del dispositivo en comparación con la metodología tradicional.	113
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES		123
ANEXOS		
BIBLIOGRAFÍA		133

PRÓLOGO

Muchas Empresas eléctricas a través del mundo han implementado desde décadas pasadas trabajos en caliente (con línea energizada) para eliminar los problemas relacionados con la reparación de líneas que requieren cortes del servicio eléctrico y evitar afectar los suministros.

En Canadá, Hydro - Québec fue implementado a principios de los años 1950. Se desarrollaron métodos para trabajar en caliente en todos los voltajes. En el caso sobre líneas de transmisión desde 69 kV hasta 735 kV de alto voltaje los registros de seguridad son elevados, ya que no se presentaron casos de fatalidad ni incidente de daños al personal, asimismo el número de cortes eléctricos disminuyó a menos de 15%. En España, lo fue hecho en 1968 en una línea de 15 kV.

En los inicios de los trabajos en caliente, los Reglamentos de Seguridad e Higiene Ocupacional vigentes de aquella época, estas técnicas no estaban reconocidas, prohibían expresamente realizar cualquier tipo de trabajo en instalaciones eléctricas sin el previo corte del suministro y la correspondiente puesta a tierra. Sin embargo los Reglamentos

evolucionaron e incorporaron la posibilidad de realizar trabajos con línea energizada por ser técnicamente factible y garantizar la seguridad del personal cumpliendo para este tipo de actividad que los técnicos y trabajadores se involucren en la seguridad integrada, seleccionar al personal idóneo, tener procedimientos de ejecución escritos, formación y capacitación de los técnicos, revisión y verificación de los equipos de trabajo, distancias de seguridad, fichas de materiales, órdenes escritas de trabajo, etc. Ellos son la causa y razón de ser de los altos niveles de seguridad que se alcanzan en estos trabajos.

A pesar de que la técnica de Trabajos en Caliente tiene décadas de aplicada en el mundo eléctrico, en el Perú las empresas eléctricas del estado se atrasaron en el tiempo como parte de ello no implementaron este tipo de trabajos, arrastrado por la inestabilidad política de los gobernantes y falta en las instituciones de líderes desprendidos del lucro propio, con visión de futuro para el desarrollo de la sociedad, que a lo largo de la historia vive nuestro país.

En los últimos años cuando las Empresas Eléctricas Nacionales y Privadas se organizan, definen su Misión y su Visión al servicio del Cliente y paralelamente por parte del estado definen las bases de la legislación eléctrica mediante la Ley de Concesiones Eléctricas, su Reglamento, las Normas Técnicas de Calidad de los Servicios Eléctricos, etc.; promueven la eficiencia en el Servicio Eléctrico como energía de la gente y por tal se vislumbra mejoras en la utilización de Tecnologías y aplicación de técnicas

CAPÍTULO I

PROCESO DE DETERIORO DE LOS ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE LAS CADENAS DE AISLADORES.

1.1. CONDICIONES AMBIENTALES LOCALES

La mayor parte del sistema eléctrico de 220 kV ubicado en la zona costera del Perú está localizado entre los 5 Km y los 20 Km del litoral de escasa vegetación. Los vientos predominantes tienen una dirección Sur - Norte, Sur Oeste - Nor Este ingresando desde el mar hacia tierra.

A lo largo del litoral costero hay una fuerte tendencia de formación de neblina, humedad y condensación en las primeras horas de la madrugada durante gran parte del año. Estas llegan a las líneas de transmisión acompañadas frecuentemente de vientos de reducida velocidad. En la costa Centro-Sur la lluvia es muy poco frecuente o casi inexistente.

La humedad se condensa en contacto con las torres, conductores y ferretería el secado de las superficies generalmente ocurre durante la mañana, con la disipación de la neblina y el ciclo se repite cada día. Durante el invierno, en ciertas regiones el ciclo de secado no ocurre todos los días y las condiciones húmedas se mantienen por varios días.

Las condiciones marinas descritas, son típicas y pueden ser observadas en varios kilómetros desde el mar hasta 20 Km a 30 Km al interior de la costa, dependiendo de la topografía y las características de los vientos predominantes.

El sistema de transmisión costero del Perú está localizado en una zona típicamente marítima, combinada con diversos factores adversos extremadamente desfavorables catalogada como una de las peores condiciones encontradas en el mundo entero, caracterizada por los siguientes fenómenos:

- Humedad elevada
- Relativamente alta temperatura
- Alto contenido de NaCl
- Ciclos de mojado - secado
- Lluvias poco frecuentes o inexistentes.

De los análisis efectuados en diferentes muestras de contaminación se han obtenido los principales componentes de las sales solubles.

- Sodio
- Calcio
- Magnesio
- Cloruros
- Sulfatos

1.2. EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN

En las actividades de mantenimiento líneas de transmisión y subestaciones ubicadas en zonas costeras se considera a la corrosión como un fenómeno que debe prevenirse y en lo posible evitar, para cuyo efecto se realizan actividades de pintado de estructuras. En caso de deterioro de los accesorios metálicos por corrosión se realiza el cambio de perfiles y cambio de herrajes de sujeción de cadena de aisladores.

Sin embargo, la corrosión no es un proceso de deterioro pasajero, sino uno de los fenómenos más trascendentales a nivel mundial en la economía de las empresas cuyas instalaciones están en zonas de contaminación ambiental y clima desfavorable.

En términos generales los perjuicios causados por la corrosión elevan los costos de operación, mantenimiento y reduce la vida útil de los componentes metálicos.

En las líneas de transmisión de nuestro país, cuando el elemento metálico se deteriora por corrosión y requiere reemplazo, como es el caso de perfiles o ángulos de las estructuras metálicas, se realizan cambios selectivos con la línea de transmisión en servicio, sin embargo para reemplazar los accesorios de sujeción de cadena de aisladores se produce la desenergización de la línea, debido a que el procedimiento tradicional utilizado implica que el personal ingresa con una escalera de aluminio paralela a la cadena de aisladores y manipula los primeros cuatro aisladores mas cercanos a la ménsula.

Los cortes de suministro para las actividades de mantenimiento se verán reducidos con el transcurrir de los años debido a las exigencias cada vez mayores de la calidad de servicio eléctrico y de costos operativos cada vez menores, requiriendo de las empresas eléctricas incursionen en los trabajos en caliente. Actividades que en otros países se ejecutan con un elevado nivel de seguridad durante hace ya varias décadas.

1.3. LA CORROSIÓN

La naturaleza desde siempre tiende a reducir a la materia a sus formas más estables: La corrosión es un proceso natural por el que el metal se altera localmente y deteriora a través de reacciones químicas o electroquímicas. El oxígeno libre en el aire o en el agua se combina con los iones del metal base. La oxidación seca para ser importante requiere solo del metal y del oxígeno bajo alta temperatura por lo que la corrosión electroquímica es predominante a la temperatura ambiente.

La corrosión en metales o aleaciones se define generalmente como un deterioro indeseable, es decir, una interacción del metal con el medio ambiente que afecta en forma adversa su integridad.

Teniendo en cuenta que a temperatura ambiente la oxidación seca de los accesorios metálicos es mínima y se protegen con la capa de galvanizado, entonces el proceso de corrosión destructiva es básicamente de carácter electroquímico, con participación de un electrolito y dependiente de los potenciales presentes bajo los cuales se cumplen algunas reacciones químicas, al conformarse en principio celdas de corrosión en las cuales habrá un movimiento de iones metálicos emitidos desde la zona anódica (donde tiene lugar la oxidación y el deterioro del metal), que llegarán a la zona catódica (donde ocurre la reducción o neutralización iónica), cerrándose el circuito a través del metal que no reacciona.

Estando las cadenas de aisladores y sus accesorios expuestos a la intemperie, la contaminación natural depositada en la superficie contendrá elementos ácidos, bases o sales que al disolverse con el agua de la

humedad ambiental condensada dará una solución electrolítica conteniendo iones de carga positiva y negativa con concentraciones dependientes del pH, cuya movilidad será dependiente de la pila de corriente eléctrica que circule a través de la solución, mediante el cual, los iones con carga positiva (cationes), se moverán hacia el cátodo, y los iones de carga negativa (aniones), se dirigirán hacia el ánodo, dando lugar al proceso corrosión atmosférica.

La corrosión de los metales en zonas afectadas de contaminación es un proceso electroquímico. Esto es, las reacciones corrosivas del metal normalmente involucran reacciones químicas y el flujo de electrones, como es el caso de una celda de corrosión galvánica que puede ser de dos tipos aquella que se basa en el par bimetálico (diferentes metales en un electrolito) y la denominada **celda de concentración** (diferentes concentraciones de electrolito sobre un metal).

1.4. MECANISMO DE LA CORROSIÓN EN EL ACERO

En los accesorios metálicos de las torres de las líneas de transmisión participa un mismo material (hierro), no habría lugar a diferencias de potencial por distinta naturaleza o composición del electrodo; Sin embargo, no ocurre así, ya que heterogeneidad granular del metal descubierto o bien las diferencias de tensión mecánica de trabajo pueden provocar diferencias de potencial de electrodo.

En una celda galvánica, se deben dar cuatro elementos que son necesarios para que exista corrosión:

- A. Un ánodo.-** Este es un electrodo donde la reacción anódica genera electrones. La corrosión ocurre en el ánodo por desprendimiento de iones metálicos.
- B. Un cátodo.-** Es el electrodo que recibe electrones. El cátodo está protegido de la corrosión.
- C. Un electrolito.-** Es un medio conductor a través del cual se transporta la corriente de iones metálicos, es una solución acuosa de ácidos, bases y sales; como cloruros, dióxido de azufre.
- D. Un camino de retorno para la corriente,** es un camino metálico que conecta el ánodo al cátodo. En las estructuras de la línea es el mismo metal base.

Los electrones circularan por el metal base desde la zona de mayor potencial (ánodo), hacia la de menor potencial (cátodo). Sin embargo, para ello será preciso además, que el circuito pueda cerrarse internamente a través del electrolito, lo que se logrará si esos electrones pueden consumirse por alguna reacción del cátodo.

1.4.1. REACCIÓN ANÓDICA

En el ánodo se produce la disolución del Fe (corrosión). Mientras los cationes Fe^{2+} pasan a la solución electrolítica hacia el Cátodo, los electrones recorren el metal base hasta llegar al cátodo:



1.4.2. REACCIÓN CATÓDICA

Los electrones generados en la reacción anódica son capturados por los constituyentes del electrolito y se combinan con el oxígeno del agua para formar iones oxidrilo.



Los iones OH^- viajan a través del electrolito y se combinan con los iones Fe^{2+} para formar hidróxidos.



Como el hidróxido ferroso es prácticamente insoluble precipita y retira los iones Fe^{2+} y $(\text{OH})^-$ del electrolito, por lo que las reacciones anódica y catódica se desequilibran y actúan hacia la derecha.

La formación del $\text{Fe} (\text{OH})_2$ requiere movilidad de los iones en el electrolito para que estos entren en contacto y reaccionen. Los iones Fe^{2+} por ser de menor radio, se difunden más rápidamente que los iones $(\text{OH})^-$ que son de menor tamaño.

Además, solamente un ion Fe^{2+} debe migrar hacia el cátodo por cada dos iones $(\text{OH})^-$ que deberán ir hacia el ánodo.

Por eso la corrosión (disolución) se produce en el ánodo mientras que los productos de ésta (herrumbre) se depositan en el cátodo.

1.5. CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CORROSIÓN DE LOS ACCESORIOS DE SUJECCIÓN.

1.5.1. DIFERENCIA DE POTENCIAL

Las celdas o pilas galvánicas que atacan a la ferretería de sujeción de cadenas de aisladores pueden clasificarse en dos tipos, en función de la fuente de potencial eléctrico que causa el flujo de corriente en el circuito:

a. Celdas de Tensión.

Las celdas por tensión se presentan en un mismo metal que contiene regiones sometidas a diferentes esfuerzos mecánicos locales. En el caso de los accesorios de sujeción de cadena de aisladores, se da la presencia de tensiones mecánicas residuales localizadas en la superficie del metal en las cuales se forma un carácter anódico de esas zonas con relación al resto.

Esto se observa sustancialmente en las uniones entre el ojal bola y perno U de los accesorios de sujeción de las cadenas de aisladores. Los diámetros de cada elemento en dichas uniones se ven reducidos en la interfase de contacto. Ver Foto N° 1.

b. Celdas de Concentración.

Las celdas de concentración se presentan en un mismo metal donde se desarrollan diferentes concentraciones del mismo electrolito. En el caso de los accesorios de sujeción de cadena de aisladores, pueden deberse a diferencias en la concentración de cloruros y sales, así como el ozono del efecto corona.

1.5.2. CONEXIÓN ENTRE ELECTRODOS.

Para el proceso de corrosión es necesaria la conexión eléctrica directa entre ánodo y cátodo a través de un conductor ajeno al electrolito. En el caso de los accesorios de sujeción de cadena de aisladores ellos mismos constituyen ese conductor.

1.5.3. HUMEDAD

La presencia de humedad en la ferretería no sólo es necesaria para producir la reacción catódica, sino también es esencial para dar la conducción eléctrica, de modo que éste actúe como un electrolito y a través de él se cierre el circuito electroquímico.

En ambientes permanentemente secos (HR < 60 %) el riesgo de corrosión es bajo, dado que el proceso electrolítico está impedido.

Sin embargo, en el caso de elevados contenidos de cloruros en zonas altamente contaminantes, el proceso corrosivo es posible debido al efecto higroscópico de los cloruros.

1.5.4. ACCESO DE OXÍGENO AL CATODO.

Al igual que la humedad, la presencia de oxígeno en el medio circundante es necesaria para producir la reacción catódica que impulsa la corrosión.

1.5.5. FALLA DE LA PELICULA PROTECTORA.

En los accesorios de sujeción de cadena de aisladores, el acero revestido por una película protectora de galvanizado en caliente, está protegido contra la corrosión por efecto de protección catódica, también llamado de "sacrificio".

Esta película impide la disolución de hierro, imposibilitando así corrosión de la morsetería. Sin embargo de presentar fallas en la película protectora por la fabricación o daños superficiales que se producen en el manipuleo, durante el trabajo de montaje, al ser sometidas a la agresividad del medio se precipita su deterioro por corrosión.

1.5.6. CORRIENTES DE FUGA POR LA CADENA DE AISLADORES.

No solo la corriente continua generada en las celas o pilas galvánicas descritas anteriormente es la que ocasiona el deterioro de los herrajes por corrosión, también las corrientes erráticas que circulan en los accesorios de sujeción debido a las corrientes de fuga que pasa por la cadena de aisladores incrementan sustancialmente el proceso de corrosión, aun más cuando la cadena de aisladores se encuentra contaminada y con presencia de humedad.

1.6. FACTORES DE DETERIORO POR CORROSIÓN.

A manera de ejemplo se menciona que partir de las inspecciones de campo sobre las estructuras de la línea de transmisión L-215 (Chimbote – Paramonga), realizados a inicios de Noviembre – 99 y Enero – 2000, se hicieron mediciones puntuales de muestreo de los principales factores atmosféricos y ambientales que inciden decisivamente en la corrosión; habiéndose obtenido los siguientes datos de medio día complementarios a los registrados por el SENAMI, los cuales se dan indistintamente en las zonas planas donde el viento está “canalizado”, e incide como en las mayores cotas próximas a los 600 m.

- Temperatura diaria máxima 22 °C a 28 °C

- Humedad relativa mínima : 46% a 55%
- Velocidad del viento – ráfagas : 16 m/s a 23 m/s

El proceso de corrosión atmosférica, es incentivado por los vientos predominantes del Sur – Oeste, que arrastran la humedad marítima y el polvo superficial, mientras que las ráfagas levantan la arena y partículas sólidas que actúan como abrasivos, descubriendo al acero en las partes con galvanizado más delgado, por donde penetra y progresa longitudinalmente hasta levantar y descascar el galvanizado.

1.7. METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN PARA EL CAMBIO DE ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE CADENA DE AISLADORES.

Antes de proceder al cambio de los accesorios de sujeción de la cadena de aisladores, se realiza la identificación del grado de deterioro por corrosión mediante inspecciones minuciosas.

1.7.1. ACTIVIDAD DE INSPECCIÓN MINUCIOSA.

La actividad de inspección minuciosa desarrollada por las empresas eléctricas, es el mantenimiento predictivo realizado para identificar todos los defectos que presentan los componentes de la Línea de Transmisión, tales como niveles de corrosión en perfiles, pernos, peldaños, aisladores, ferretería / accesorios, amortiguadores; deterioro de conductores, cimentaciones, faja de servidumbre y camino de accesos.

La inspección minuciosa se realiza una vez al año con la línea de transmisión en servicio y como parte de la inspección se evalúa el nivel de corrosión de los accesorios metálicos clasificándolos según el cuadro “Clasificación de nivel de corrosión”.

a. Sistema de Clasificación de Nivel de Corrosión.

La evaluación del nivel de corrosión para establecer el mantenimiento o cambio de los elementos metálicos de una estructura, se determina según criterios de la Tabla N° 1.1.

Nivel de Corrosión	Pérdida Aprox. de Galvanizado	Descripción	Recomendación
1	0 – 1 mils	Buena condición No hay signos visibles de corrosión.	Pintado fácil con una ligera limpieza.
2	1 – 2 mils	Corrosión Ligera Muy ligeramente amarillenta con manchas visibles en la superficie.	Pintado fácil con ligero tratamiento de superficie a escobilla.
3	2 – 3 mils	Mediana corrosión Áreas de corrosión amarillenta y marrones en su mayoría. Permanece el galvanizado.	Pintado con un Requerimiento de tratamiento mas intenso de superficie.
4	3 – 5 mils	Fuerte corrosión Pérdida casi completa del galvanizado Corrosión generalizada	Cambio puede esperar
5	5 + mils	Corrosión muy severa Pérdida completa del galvanizado. Pérdida del metal	Cambio urgente

Tabla N° 1.1

Como resultado de la inspección minuciosa de la línea de transmisión, se programa el cambio de ferretería deteriorada por corrosión, a fin de evitar posibles fallas por rotura de accesorios de sujeción de cadena de aisladores, y permita mantener la confiabilidad de la línea.

La experiencia en mantenimiento de líneas de transmisión, se observa que los herrajes de sujeción de cadena de aisladores, se deterioran por corrosión mas rápidamente que las caperuzas y pines de los aisladores. Cuyo deterioro depende de los materiales de fabricación, del galvanizado y condición de agresividad del medio ambiente tal como se explicó en los ítem del presente Capítulo.

Las Fotos (1.1) al (1.4) muestran el deterioro de los accesorios de sujeción de cadena de aisladores en el cual se observa el grado de corrosión nivel 4 y 5, cuyas condiciones prevén programar el cambio de los mismos por unos nuevos.



Foto (1.1) – Corrosión grado 5 de accesorios de sujeción de las cadenas de aisladores de líneas de transmisión costera 220 kV – Perú



Foto (1.2) - Corrosión grado 5 de accesorios de sujeción de las cadenas de aisladores de Subestación Chimbote I - Perú



Foto (1.3) – Corrosión grado 4 de accesorios de una línea de transmisión
Colombia



Foto (1.4) – Corrosión grado 5 de accesorios de una línea de transmisión
Colombia

CAPÍTULO II

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL DE CAMBIO DE FERRETERÍA APLICADO EN NUESTRO MEDIO

2.1. ASPECTOS GENERALES DEL PROCEDIMIENTO

Actualmente en nuestro país, los trabajos en el aislamiento de las líneas aéreas (reemplazo de ferretería y aisladores) y en los conductores de los mismos (reparación con manguitos de empalme, reemplazo o adición de amortiguadores, etc.) son realizados con la línea desenergizada.

Las líneas de transmisión del Sistema Interconectado Nacional en muchos casos está construido de tal manera que las subestaciones en 220 kV son alimentadas por un solo circuito en una configuración tipo antena. Por tal motivo los mantenimientos y reparaciones en los aisladores y conductores con línea desenergizada son programados los fines de semana, al registrarse la menor demanda de energía, así afecta en menor escala la continuidad del servicio hacia los clientes, sin embargo eleva el costo de la energía eléctrica al aumentar el consumo de energía térmica, con la posibilidad de infringir las normas técnicas de calidad del servicio eléctrico.

El cambio de accesorios de sujeción con línea desenergizada es una labor que se realiza tradicionalmente, cuya metodología se procederá a describir en el presente capítulo a fin de poder realizar una comparación con la nueva metodología de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada.

2.1.1. TRABAJOS EN LÍNEA SIN TENSIÓN

Es la actividad de intervención sobre aisladores, ferretería, conductor, etc. de una línea de transmisión donde es obligatorio su desenergización, debiendo ser puesta a tierra solidamente en ambos extremos del punto de reparación, mantenimiento o rehabilitación; adicional a la conexión de tierras en las subestaciones extremas mediante los seccionadores de tierra.

2.2. MÉTODO TRADICIONAL DE REEMPLAZO DE FERRETERÍA DE CADENA DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN DE LÍNEAS 220 kV.

En el presente acápite se presenta la metodología tradicional de cambio de ferretería de sujeción deteriorada por corrosión en estructuras de suspensión, con el fin de evitar el desprendimiento de la cadena de aisladores y garantizar el normal transporte de energía eléctrica, aplicable en líneas de transmisión 220 kV.

2.2.1. FRECUENCIA DE INTERVENCIÓN

De acuerdo a los resultados de las inspecciones minuciosas.

2.2.2. CONDICIÓN REQUERIDA

Línea de Transmisión fuera de servicio con tierras francas en ambos extremos.

2.2.3. CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES

Vientos menores a 40 Km/h y ausencia de lluvias.

2.2.4. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

a. Equipos

01 Detector de tensión

01 Juegos de tierras temporarias

01 Tecle de cadena de 1,500 Kg

b. Herramientas

01 Polea con gancho giratorio de 500 Kg.

100 m. de sogá nylon tipo driza de 5/8" de diámetro

01 m. de sogá nylon de 1/2" de diámetro

01 Escalera de aluminio con gancho

01 Arco de sierra

01 Estrobo de acero de 1/2" de diámetro y 1 metro de longitud.

01 Alicata para electricista

01 Juego de llaves de boca / corona, cincel y martillo

2.2.5. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

Zapatos de seguridad.

Ropa de trabajo.

Casco de seguridad con barbiquejo.

Arnés de seguridad con lazo y gancho de seguridad en ambos extremos.

a. Comunicaciones

01 radio portátil y radio móvil por brigada.

2.2.6. PERSONAL REQUERIDO

01 Supervisor encargado.

02 Linieros especialistas en maniobras

01 Ayudante

2.2.7. MÉTODO DE TRABAJO

El Supervisor encargado solicita permiso para trabajar.

- El Supervisor encargado con el apoyo de 01 Liniero especialista, verifica con el detector de tensión, si la línea se encuentra desenergizada.
- Instalación de tierras temporarias a cargo del supervisor encargado con 02 Linieros, en el conductor de la fase a cambiar ferretería.
- Luego de la confirmación de la instalación de tierras temporarias, el Supervisor encargado autoriza el ingreso a la zona de trabajo para el inicio de las labores.
- Uno de los Linieros sube por la estructura llevando consigo la polea, y la soga de servicio de 100 metros.
- Se procede a sujetar la polea a la ménsula e instalar la soga del servicio por el cual se subirán los materiales y herramientas a utilizar.
- Se izará también el tecele con sus respectivos estrobos de acero y la escalera de aluminio, la que será colocada asegurándola en la base de la ménsula mediante su gancho lo mas cercano posible a la cadena de aisladores donde se cambiará la ferretería. Por seguridad con la soga de 01 metro se procederá a amarrar la escalera con la ménsula.
- Uno de los Linieros parado y estrobado en la parte superior de la escalera, asegurará el estrobo de acero en el cuarto elemento, parte superior, de la cadena de aisladores, para unirlo al gancho del tecele de cadena.
- El Liniero accionará el tecele para jalar la cadena hacia sí, previo a esto afloja el pasador del primer aislador.

- Luego accionará el tecle hasta que la cadena de aisladores quede floja en sus cuatro primeros elementos, de esta forma se desengancha la cadena de aisladores quedando libre de la ferretería a cambiar (ojal bola o perno pasante en "U").
- Debido a que por lo general las tuercas están corroídas, el Liniero cortará las mismas con arco de sierra, cincel y/o martillo.
- Una vez cortada las tuercas, se sacará la ferretería defectuosa y colocará el nuevo, debiendo luego engancharlo con la cadena de aisladores.
- Luego de reemplazo la ferretería, se afloja el Tecle hasta que la cadena quede nuevamente tensado por el peso del conductor.
- Se procede a retirar los equipos y herramientas utilizados, teniendo en cuenta que la ferretería y todos los seguros estén debidamente colocados.
- El Supervisor encargado cancela su permiso de trabajo.

CAPITULO III

COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO EN LAS CADENAS DE AISLADORES

En la operación de las líneas de transmisión de zonas costeras se tienen problemas con el aislamiento por contaminación medio ambiental que puede producir alteraciones en el sostenimiento del aislador, dado que la resistencia superficial de los aisladores se ve afectada por los depósitos contaminantes que forman capas conductoras continuas cuando hay humedad.

Los flameos por contaminación ocurren con frecuencia bajo condiciones de humedad o lluvia salina, y también cuando los aisladores son alcanzados por los humos o el polvo superficial y se impregna de agua de condensación o de neblina.

Siendo el problema de la contaminación tan importante por los efectos que tiene en el aislamiento de las líneas de transmisión es necesario mencionar también los métodos para retirar los contaminantes de los aisladores, en nuestro país se desarrollan los lavados en caliente de cadena de aisladores por medio de chorros de agua tratada (≥ 2000 ohm-cm a 20 °C) a alta presión (600 PSI) en líneas de 220 kV, para el cual se utiliza equipos de lavado y vehículos de todo terreno, asimismo se realizan limpiezas manuales de aisladores con línea desenergizada. Para neutralizar la contaminación también se utiliza la técnica del uso de grasa silicona.

Las condiciones meteorológicas y el comportamiento del aislamiento son aspectos que deben tenerse en cuenta para el cambio de accesorios de sujeción de cadenas de aisladores con línea energizada.

3.1. EL AISLAMIENTO EN CADENA DE AISLADORES

Para las labores de cambio de accesorios de sujeción (ferreterías) que se propone, se debe tener en cuenta el comportamiento del aislamiento de las cadenas de aisladores.

3.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LA TENSIÓN EN UNA CADENA DE AISLADORES LIMPIA Y SECA.

En la medida que podamos comprender el comportamiento del aislamiento de un aislador o de una cadena de aisladores podremos adoptar las precauciones de seguridad para las labores de cambio de ferretería con línea energizada.

Uno de los criterios fundamentales es la distribución de la tensión en un aislador o en una cadena de aisladores limpios y secos sometidos a una tensión alterna.

3.1.2. COMPORTAMIENTO DE UN ELEMENTO DE AISLADOR.

La Figura N° 1, nos muestra la distribución de la tensión en la superficie de un aislador tipo caperuza – pin.

Como se puede observar, los gradientes más altos se encuentran cerca del pin y en menor porcentaje en la caperuza, a la vez que los gradientes más bajos se encuentran en el resto de la superficie del aislador.

El 70% de la caída de tensión se produce entre el pin y el punto 9 fuera de la última falda, esta línea de fuga representa aproximadamente el

22 % de la línea de fuga total. Entre la caperuza y el punto 1 se produce una caída de tensión del 23% que representa únicamente el 6 % del total. La línea de fuga restante solo tendrá una caída de tensión del 7 %.

La distribución de la tensión en un aislador, limpio y seco estará determinada por el campo eléctrico de la caperuza y el pin con un comportamiento de tipo capacitivo, ya que la resistividad superficial (limpio y seco) es tan grande que básicamente solo prevalece el efecto capacitivo del aislador.

3.1.3. COMPORTAMIENTO DE UNA CADENA DE AISLADORES.

Cuando varios aisladores son conectados en serie, formando una cadena, la distribución superficial de la tensión en cada uno de los aisladores es diferente comparado con el caso de un solo aislador, por que depende de la ubicación que tenga el aislador dentro de la cadena, determinado por su propio nivel de tensión en función de los efectos capacitivos.

La Figura. N° 2 muestra una típica distribución de tensión para una cadena de tres aisladores.

En este caso la tensión entre el pin y el punto 9 para el aislador situado en el lado de la línea es de un 10 % más del que sería esperado si todos los aisladores soportaran la misma tensión. Esta distribución demuestra que en una cadena de aisladores limpia y seca, el máximo gradiente se produce en el pin del aislador del lado de la línea.

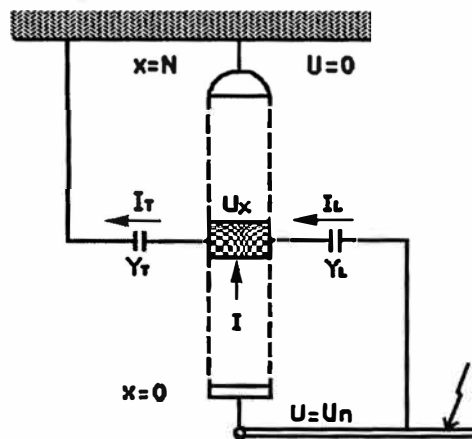
Por lo anteriormente mencionado, se demuestra que la repartición de la tensión a lo largo de la cadena de aisladores no es uniforme, el aislador que soporta la mayor tensión es aquel ubicado en el lado de la línea, el cual

esta determinado por la capacitancia propia del aislador mas las capacitancias parásitas hacia la línea y hacia tierra que tienen valores significativos.

La representación eléctrica equivalente de una cadena de aisladores en servicio está dada en la Figura N° 3.

3.1.4. REPARTICIÓN DE POTENCIAL EN UNA CADENA DE AISLADORES.

Partiendo del esquema eléctrico matemático equivalente de una cadena de aisladores energizada y aplicando el cálculo infinitesimal, se logra determinar la “Ecuación de Repartición de Potencial de una Cadena de Aisladores”.



$$U_x = U_n \left(\frac{C_L}{C_L + C_T} - \frac{C_L \cdot \text{Senh}(x.m) - C_T \cdot \text{Senh}[(N-x).m]}{(C_L + C_T) \cdot \text{Senh}(N.m)} \right)$$

Donde:

$$m = \sqrt{\left(\frac{j\omega R \cdot (C_L + C_T)}{1 + j\omega R \cdot C} \right)}$$

U_x = Caída de tensión que se produce desde la línea al aislador $N^\circ x$.

U_n = Tensión aplicada a la cadena

x = Numero de aisladores contados a partir del conductor de la línea.

N = Numero total de aisladores de la cadena.

C = Capacitancia propia del aislador.

C_L = Capacitancia parásita a la línea.

C_T = Capacitancia parásita a tierra.

R = Resistencia superficial de fuga del aislador.

Al graficar la ecuación de "Repartición de Potencial" se tiene la Fig. N° 4 donde aparece esquematizada la variación porcentual de la distribución de tensión por cada aislador para una resistencia ideal de fuga variable R , considerando una cadena de 20 aisladores con parámetros medios supuestos. Se considera $R = \alpha$ para un aislador limpio y seco.

En el gráfico se observa que el aislador número 20 mas cercano a la ménsula soporta una diferencia de potencial máxima entre el pin y la caperuza del 5.5 % de la tensión de fase.

Para anular dicha diferencia de potencial en la actividad de cambio de accesorios de sujeción se instalará una conexión de tierra temporaria en la caperuza del aislador número 19.

Mediante el uso del programa matemático MATLAB la fórmula de "Repartición de Potencial" es procesada lográndose obtener la repartición de potencial para una cadena de 20 aisladores y 19 aisladores, con una tensión de fase por línea de 220 kV, los cuales se grafican en la Figura N° 5 y Figura N° 6 respectivamente.

3.2. CONDICIONES METEOROLOGICAS QUE INFLUYEN EN EL AISLAMIENTO.

Uno de los parámetros que afectan el aislamiento externo de un aislador con respecto a su tensión de contorno, está dado por las condiciones meteorológicas consideradas como la densidad relativa y la humedad del aire.

3.2.1. DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE.

La tensión de descarga disruptiva depende de la densidad del aire, por lo que se establece un factor de densidad relativa (δ) del aire, el cual para cualquier condición de presión barométrica y temperatura estará dado por la siguiente relación:

$$\delta = \frac{0.29b}{273 + t}$$

Donde:

b = Presión barométrica en mbars

t = Temperatura ambiente en °C

a. Condiciones Atmosféricas Estándar

Se les denominan también condiciones normales, están dados por los siguientes parámetros:

Temperatura del aire : $v_0 = 20 \text{ °C}$

Presión atmosférica : $p_0 = 1013 \text{ mbar}$

Humedad del aire : $h_0 = 11 \text{ gr. agua / m}^3$

Los valores indicados se dan en promedio al nivel del mar en zona costera, en cuyo caso reemplazando los valores la densidad relativa del aire (δ) resulta igual a 1 como condición atmosférica estándar. En tal sentido este factor para nuestro estudio será constante y no se considerará para evaluar el comportamiento de aislamiento en la actividad de cambio de ferretería con línea energizada.

3.2.2. HUMEDAD Y CONDENSACION.

La tensión de contorno de las cadenas de aisladores disminuye bajo humedad relativa $H_r > 90\%$, también depende del contenido de humedad absoluta del aire, ya que a un mayor número de moléculas de vapor de agua en el aire, también será mayor la probabilidad de capturar electrones.

Es preciso indicar que aun a valores inferiores a 90% de humedad relativa se produce el denominado punto de rocío o la condensación, dicho fenómeno es limitativo para el trabajo propuesto de cambio de ferretería.

3.2.3. LA LLUVIA.

La tensión de contorno de una cadena de aisladores se reduce menos que bajo condensación, también depende grandemente del grado de precipitación pluvial que cae sobre la cadena. En una cadena de aisladores en posición vertical, el efecto será mayor debido al goteo que se produce de un aislador a otro, este flujo de agua distorsiona el campo eléctrico e incrementa los gradientes de tensión.

En conclusión la lluvia, la condensación y la humedad relativa ($H_r > 80\%$) como se evaluará mas adelante son condiciones desfavorables para

desarrollar trabajos en las líneas de transmisión y mucho mas si el aislamiento está contaminado, como lo sería en nuestro caso en las labores de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada, la humedad en todas sus formas favorece la conductividad eléctrica.

3.3. ENSAYOS ELÉCTRICOS DE AISLADORES

Someter a los aisladores a una serie de ensayos permite comprobar si poseen las características eléctricas para las que han sido fabricados.

Analizaremos la tensión de contorno en seco o en lluvia y la tensión de perforación.

3.3.1. ENSAYO DE CONTORNEO

Es la tensión en la que se produce un arco o descarga disruptiva por la superficie del aislamiento entre el soporte metálico y el conductor.

El ensayo se realiza sometiendo al aislador a una tensión cada vez más elevada entre la caperuza y el vástago, hasta que se produce el arco eléctrico; en ese momento estaremos ante la tensión de contorno.

El ensayo se realiza también bajo lluvia artificial controlada con una inclinación de 45° sobre el aislador. La tensión de contorno bajo lluvia es menor que en condiciones normales pero siempre debe ser superior a la tensión nominal de empleo del aislador.

Los aisladores se fabrican con el dieléctrico provisto de faldas profundas con el fin de aumentar la longitud que debe recorrer el arco

eléctrico para que logre el puenteo. Esta distancia se llama línea de fuga y es una característica fundamental en los aisladores.

En la Figura N° 7 han sido graficados los valores de tensión de contorno obtenidos con cadenas de aisladores limpias y secas (tipo estándar y antineblina, que tienen un diámetro de 254 mm y un espaciado de 146 mm) sometidas a una tensión alterna según norma IEC.

3.3.2. ENSAYO DE PERFORACION

La tensión de perforación es aquella en la que se produce la perforación o rotura del dieléctrico, ya que el arco eléctrico atraviesa el vidrio o la porcelana.

A frecuencia industrial, la perforación del aislador no puede ser obtenida estando rodeado de aire, ya que saltaría el arco por la línea de fuga y no a través del dieléctrico. Por lo tanto se impide la formación del arco de contorno sumergiendo el aislador en aceite mineral, con lo cual se puede elevar la tensión de prueba hasta obtener la rotura o la perforación del aislador; también se produce perforación aplicando impulso de tensión de alta tasa de crecimiento.

3.4. TENSION DE CONTORNEO ENTRE LOS DISTINTOS ELEMENTOS DE UNA CADENA DE SUSPENSION

La tensión de contorno en seco varía según el tipo de aislador, por ejemplo un elemento caperuza-vástago estándar (modelo 1.512) de 254 mm.

de diámetro presenta 78 kV. Cuando se forma una cadena de “n” elementos no se tiene una tensión de contorno de $(n) \cdot (78 \text{ kV})$ sino inferior, debido a la no linealidad de la repartición del potencial que crean las capacitancias parásitas hacia tierra y hacia el conductor; para el caso mencionado ocurre que:

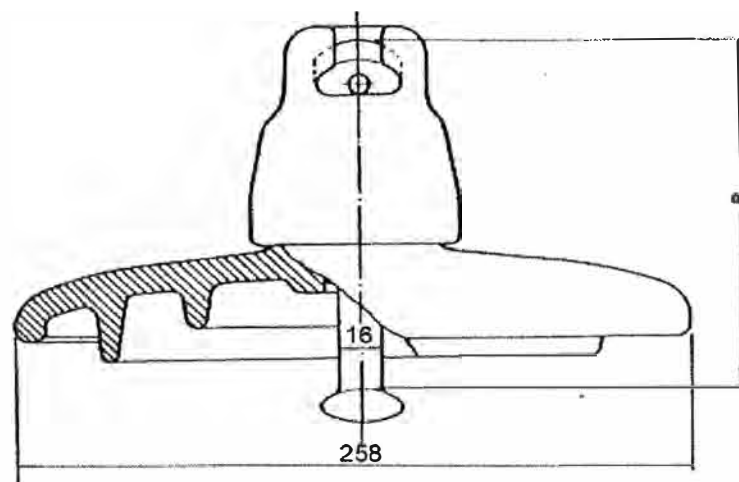
5 elementos soportan 270 kV (media de 54 kV)

10 elementos soportan 475 kV (media de 47,5 kV)

15 elementos soportan 670 kV (media de 44,6 kV)

Para comprender mejor el comportamiento se consideran dos modelos de aisladores y su respectiva reconstrucción de cadena de aisladores variando el número de los mismos.

Aislador de Suspensión Modelo 1.512 (Vidrio templado)



$P = 127 - 146 \text{ mm}$

Tensión de perforación en aceite 130 kV.

Longitud de la línea de fuga 291 mm.

Carga de rotura mecánica, mínima garantizada 12.000 Kg

Esfuerzo permanente normal 4.800 Kg

Peso neto aproximado 4,4 Kg

CARACTERÍSTICAS ELEMENTALES DE LAS CADENAS										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V _S	78	130	180	225	270	310	350	395	435	475
V _L	45	80	115	150	185	215	250	290	325	360

Donde:

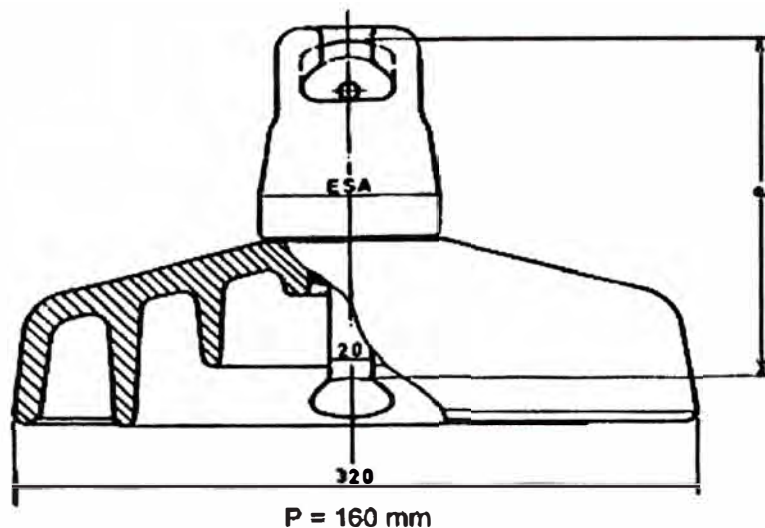
N = Número de elementos por cadena.

V_S = Tensión de contorno en seco a frecuencia industrial en kV.

V_L = Tensión de contorno bajo lluvia a frecuencia industrial en kV.

Aislador de Suspensión Modelo 1.515 – P (Porcelana)

Para atmósferas contaminadas



Tensión de perforación en aceite 130 kV.

Longitud de la línea de fuga 510 mm.

Carga de rotura mecánica, mínima garantizada 16,500 Kg.

Esfuerzo permanente normal 6,600 Kg.

Peso neto aproximado 8,3 Kg.

CARACTERÍSTICAS ELEMENTALES DE LAS CADENAS										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V _s	100	170	235	305	370	425	490	540	595	650
V _L	50	80	130	170	215	250	290	335	385	420

Donde:

N = Número de elementos por cadena.

V_S = Tensión de contorno en seco a frecuencia industrial en kV.

V_L = Tensión de contorno bajo lluvia a frecuencia industrial en kV.

3.5. EFECTOS DE LA HUMEDAD EN UNA CADENA DE AISLADORES CONTAMINADA.

3.5.1. PRECIPITACIONES SOBRE LA SUPERFICIE DE LOS AISLADORES

Las cadenas de aisladores y los accesorios de una línea de transmisión por estar expuestas a la intemperie, están sometido a todos los tipos de precipitación lluvia, polvo natural, humos, vapores inertes, algunos productos químicos los cuales forman parte de la contaminación del aislador como fertilizantes agrícolas, residuos de cemento o fosfatos, sal de rocío provenientes de los mares, cenizas, residuos de carbón, álcali de los desiertos, dióxido de sulfuro y vapores ácidos de plantas industriales transportadas por el aire y viento.

Un análisis de los elementos depositados sobre la superficie de los aisladores a demostrado la existencia de los siguientes componentes sólidos.

Por pérdidas en la combustión:

Sulfuros y sulfatos

Carbón

- Materiales orgánicos volátiles combinados con ácidos radicales solubles al agua.

Por residuos minerales y silicatos insolubles:

- Oxido de Hierro
- Oxido de Aluminio
- Oxido de Calcio
- Oxido de Potasio
- Oxido de Sodio
- Arena de kaolín y feldespato

La casi totalidad de **los depósitos acumulados que existen bajo la forma de residuos o polvo tienen una resistividad muy alta en el estado seco**; la humedad del aire hace que se reduzca la resistividad de la capa contaminada, formándose una película mas conductiva que la propia superficie del aislador. Bajo esta condición la corriente de fuga se incrementa y la distribución de la tensión cambia a lo largo de la superficie de los aisladores.

De cadenas de aisladores en las cercanías del mar se ha establecido que los elementos conductivos están formados en su mayor parte por microscópicos núcleos de sal (ClNa) provenientes del mar. Este tipo de sal produce la menor tensión de sostenimiento del aislamiento.

En general, se puede caracterizar el ambiente local en la región costera peruana como de tipo desértico costero, el análisis químico de los contaminantes de superficie, el cual se puede aplicar a varias zonas de la región costera del Perú indican una composición 13% de sal soluble, 15% en

peso con 5% de ClNa , 6 – 8% de CaSO_4 y 2% de otros. La fuente principal de la contaminación del desierto es la acumulación de partículas del suelo acarreadas por el viento.

3.5.2. EFECTOS DE LA HUMEDAD

Como se sabe la contaminación requiere de una moderada cantidad de humedad antes que su conductividad sea apreciable, ya que con el aporte de humedad los electrolitos solubles que la conforman se disuelven gradualmente formando una película delgada de líquido conductivo sobre el dieléctrico. Consecuentemente la corriente senoidal de fuga de los aisladores se incrementa desde los micro amperios hasta los miliamperios.

Si la película del líquido conductivo es uniforme, la reducción de la resistencia de fuga del aislador, hará la distribución de la tensión en una cadena de aislador mas uniforme, tal como se muestra en la Figura 4.

El valor de la resistencia de fuga entrará en un proceso de reducción desde el momento en que la humedad hace contacto con la contaminación y transcurrirá un cierto tiempo para que alcance su valor de saturación.

La resistencia de fuga de un aislador contaminado no es uniforme a través del aislador, encontrándose los valores mas altos concentrados en las cercanías del pin y de la caperuza.

La reducción de la resistencia de fuga del aislador, estando sometido a una tensión alterna, hará que se incremente el calor en la proximidad de la caperuza y la espiga la cual tenderá a secar la contaminación en esas zonas, a la vez que incrementará la resistencia y limitará en ciertas áreas el

incremento de la resistencia de fuga en forma de zonas secas debido al efecto Joule que crea la circulación de la corriente en la capa contaminante.

En la Figura N° 8 se muestra la distribución de la tensión del aislador en estas condiciones.

Asimismo, con relación al comportamiento de la conductividad de la capa de contaminación, se muestra en la Figura N° 9 la variación de la conductividad específica de dos muestras de capa de contaminación (con valor pico de saturación de conductividad igual a $40 \mu\text{S}$ y $72 \mu\text{S}$) con la variación de la humedad relativa entre el 67% al 100%, a una temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$; donde se puede observar que para una humedad relativa por debajo del 85%, la conductividad de la capa contaminada es prácticamente despreciable, para una humedad del 90%, la conductividad de la capa empieza a incrementarse, pero una considerable fracción del valor de saturación es alcanzada con una humedad relativa superior al 95%.

En tal sentido para evitar trabajar en condiciones que favorezcan la conductividad de los contaminantes, se establece que el factor de seguridad de la humedad relativa del medio ambiente debe ser menor a 80% para desarrollar la actividad de cambio de ferretería con línea energizada.

3.6. CORRIENTE DE FUGA Y CHISPORROTEO EN UNA CADENA DE AISLADORES CONTAMINADA.

Durante pruebas de contorno bajo condiciones de neblina el contorno de los aisladores contaminados es precedido por las descargas disruptivas de alta frecuencia en la forma de chisporroteo.

La descripción de este tipo de descarga se circunscribe al caso de humedecimiento gradual de la superficie contaminada de los aisladores de la línea mediante neblina o llovizna, estando sometida a una tensión alterna.

Cuando una cadena de aisladores contaminada en estado seco es energizada no se producirán chisporroteos o descargas parciales, las corrientes de fuga es tan baja que prácticamente **todas las corrientes componentes son de naturaleza capacitiva; cada elemento mantiene sus características de tensión de contorno igual que en condición limpia y seca**, hasta que aparece la neblina creando una película de humedad sobre la superficie contaminada, produciéndose simultáneamente un gradual incremento de la amplitud de la corriente de fuga senoidal, cambiando la corriente al de un tipo resistivo.

Como la contaminación empieza a conducir lentamente, en el aislador aparecerá una lengüeta azulada producida por las descargas parciales, formando una débil banda circular azul los cuales persisten con una corriente de fuga del orden de 1 mA.

Las cadenas de aisladores contaminadas alcanzan una resistencia de aislamiento muy baja, con altos valores de humedad relativa lo cual ocurre cuando se registran valores bajos de temperatura, tal como se observa en la gráfica de la Figura N° 10, cuyos valores fueron obtenidos en estudios del comportamiento de contaminación de nuestro país, para determinar la variación de la resistencia de fuga de aisladores con la humedad relativa / temperatura efectuada en un tramo de línea eléctrica costera de 220 kV en cadenas de aisladores de 17 elementos durante 24 hrs del día, en pleno

invierno para tres diferentes estados: contaminadas, lavadas a presión y limpiadas a mano.

Si la tensión a frecuencia industrial permanece estable y la **contaminación es funesta** la amplitud de la corriente impulsional es del orden de 10 a 1000 mA, pudiendo llegar la corriente a frecuencia industrial hasta valores de 1.5 mA. Cuando la amplitud pico de los impulsos sobrepase los 600 o 700 mA, el aislador probablemente esté en el límite del contorno.

A medida que se humedece la superficie de la cadena limpia de aisladores, se añade una alta resistencia en paralelo a la capacitancia del aislador. Por consiguiente, la impedancia de superficie se convierte en una capacitancia y resistencia combinadas y la resistencia está afectada por el efecto de secado producido por la corriente de fuga. En este estado la corriente de fuga en la superficie es aproximadamente de 100 a 600 microamperes, es la mínima corriente de fuga a condiciones normales.

3.7. DETERMINACION DE LA TENSION DE SOSTENIMIENTO DE AISLADORES CONTAMINADOS

El establecimiento de las tensiones de sostenimiento de cadenas de aisladores contaminados indujo a diversos laboratorios extranjeros a efectuar pruebas en aisladores contaminados naturalmente sacados de las líneas de transmisión con la finalidad de obtener la relación entre el grado de contaminación y la tensión de sostenimiento.

Para tal efecto, una cadena de aisladores fue colocada en una cámara especial de prueba, en la cual se le aplicó una tensión alterna de valor constante a la vez que se iniciaba el proceso de humedecimiento

durante 30 minutos, tiempo en el cual debería la cadena sostener o contornear.

Como el número de medidas debería ser suficiente para obtener valores promedios consistentes y ante la imposibilidad de contar en la práctica con cadenas de aisladores contaminados naturalmente a un mismo grado, se efectuaron una serie de pruebas con la finalidad de poder encontrar un tipo de contaminación artificial que pudiera reproducir en lo posible las condiciones de falla que produce la contaminación natural humedecida en la superficie externa de los aisladores y que por lo tanto deberían de cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Mantenerse la contaminación en la superficie de los aisladores a pesar de ser sometido a una fuerte neblina.
- b) Ser permeable, para permitir al electrolito entrar en solución y poder formar una película de líquido conductivo.
- c) Ser altamente resistente al calor; y
- d) Ser fácilmente limpiado con la mano.

Lo cual fue conseguido mezclando el caolín y sal. Las diferentes concentraciones salinas de la contaminación fueron obtenidas variando el peso de sal (Cl Na) y manteniendo constante el peso de caolín disuelto por litro de agua destilada en un tanque de inmersión, donde cada aislador fue sumergido en esta solución de contaminación y luego puesto a secar. La inmersión fue usualmente empleada debido a que la concentración de sal puede ser mejor controlada.

Una vez seca la contaminación de los aisladores; se eslabonó una cadena y se procedió a efectuar la prueba anteriormente descrita, variando la concentración de sal de contaminación en aisladores de porcelana con lo cual se obtuvieron las curvas que están en la Figura N° 11, donde se grafican la tensión de sostenimiento versus equivalente salino de aisladores de porcelana tipo standard de 254 cm x 146 cm obtenidas por Kawai en el Japón, incluida la curva para aisladores de porcelana tipo SMOG de 254 cm x 146 cm; ambas con una probabilidad de sostenimiento del 95%.

3.8. DETERMINACIÓN DEL N° DE UNIDADES EN CADENA DE AISLADORES DE ZONAS CONTAMINADAS.

Siendo nulo el nivel isoceraunico en esta zona, el aislamiento eléctrico de los componentes energizados de la línea y las Estaciones de Transformación estará sometido solamente a solicitudes provenientes de sobretensiones de origen interno y evolucionará permanentemente en función del tiempo, hacia condiciones de funcionamiento anormal a causa de la acumulación de la contaminación.

Los intervalos de aire o espaciamiento de aislamiento, es decir la distancia más corta entre las partes a diferentes potencial, por ejemplo, la longitud de una cadena de aisladores o la separación entre conductores serán dimensionados en función de las sobretensiones de maniobra, mientras que la longitud de la línea de fuga del aislamiento externo bajo contaminación, que es la que sostendrá en permanencia la tensión de ejercicio, estará dimensionada en función de las sobretensiones temporarias más elevadas.

Por ejemplo para el diseño del aislamiento de la línea Lima – Chimbote, por ser una línea larga compensada reactivamente, se asumió el coeficiente óptimo de sobretensiones temporarias como $K = 1.5$.

La cantidad de aisladores de una cadena, será determinada mediante la siguiente expresión:

$$N = K \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right) \left(\frac{1}{U_s} \right)$$

Donde:

N = Número de aisladores tipo antineblina

($\phi = 254$ mm., $E = 146$ mm.)

V = Tensión del Sistema (kV)

K = Factor de Sobretensión Temporal

U_s = Tensión de Sostenimiento del aislador con una contaminación diferente en la superficie superior e inferior.

La tensión de sostenimiento del aislador contaminado en forma diferente en la superficie superior e inferior, será determinada considerando la tensión de sostenimiento de un aislador contaminando uniformemente con el mismo grado de contaminación de la superficie en referencia, multiplicado por el cociente obtenido de dividir la línea de fuga de la superficie en referencia entre la línea de fuga total del aislador. Esta tensión sumada a la obtenida para la otra superficie en la forma explicada anteriormente nos dará la tensión de sostenimiento para el aislador no contaminado igualmente, en las dos superficies del aislador.

Para la Línea de Transmisión Lima –Chimbote, se efectuaron estudios de contaminación para diseñar el aislamiento de la línea, se tomaron medidas de contaminación efectuadas en la superficie inferior y superior de los aisladores tipo antineblina, para distintos intervalos de exposición en 8 estaciones de captación ubicadas a lo largo de la ruta de la Línea de Transmisión, los cuales han sido graficadas en la Figura N° 12 y Figura N° 13.

En el calculo de aislamiento se tomaron el más alto grado de contaminación Figura N° 12 y Figura N° 13, que se acumularon en la estación de captación de Naranjal en un lapso de 6 meses, de la Figura N° 11 se obtendrá la tensión de sostenimiento y de la Tabla N° 2 las líneas de fugas del aislador, todos los cuales se consignan en el siguiente cuadro.

Entonces el número de aisladores por cadena, considerando el grado de contaminación que alcanza la superficie superior e inferior de los aisladores para cierto período de exposición, será:

SUPERFICIE	CONTAMINACIÓN	TENSIÓN DE SOSTENIMIENTO	LINEA DE FUGA
Superior	0.115 mg / cm ²	11.5 kV	157 mm
Inferior	0.500 mg / cm ²	9.9 kV	275 mm
Total			432 mm

La tensión de sostenimiento de la superficie superior es:

$$U_{ss} = 11.5 \left(\frac{157}{432} \right) = 4.18 \text{ kV}$$

La tensión de sostenimiento de la superficie interior es:

$$U_{si} = 9.6 \left(\frac{275}{432} \right) = 6.30 \text{ kV}$$

Por lo tanto, la tensión de sostenimiento del aislador será:

$$U_s = U_{ss} + U_{si} = 4.18 + 6.30 = 10.48 \text{ kV}$$

Y el número de aisladores será:

$$N = 1.5 \left(\frac{220}{\sqrt{3}} \right) \left(\frac{1}{10.48} \right) = 18.18$$

Se consideró que el mantenimiento de las cadenas de aisladores se efectuaría lavándola con agua a presión, por lo que se añadieron dos aisladores más, debido a la reducción de la tensión de sostenimiento por debajo de lo anteriormente anotado durante la actividad de lavado, y por tal se estableció 20 aisladores.

Es preciso resaltar que la tensión de sostenimiento hallada de 10.48 kV, es una condición crítica que el aislador llegará luego de 06 meses de exposición a la acumulación de contaminación ambiental, esto implica que para un nivel de contaminación menor a 06 meses la tensión de sostenimiento será mayor a 10.48 kV.

En tal sentido para nuestro propósito, se ha establecido un margen de factor de seguridad de 2.4, esto implica que para desarrollar la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada, se debe considerar que la cadena de aisladores no debe tener una exposición a la contaminación mayor a de 2.5 meses después de realizado su mantenimiento de aislamiento por lavado en caliente o limpieza. En el caso

de estar la cadena de aisladores siliconada la actividad de cambio de ferretería se realizaría con un tiempo no mayor a 10 meses de aplicada la silicona.

Asimismo como en 2.5 meses la tensión de sostenimiento será mucho mayor a 10.48 kV permitirá instalar un cable de tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador reduciendo en un elemento la cadena de aisladores sin afectar la tensión de sostenimiento crítica.

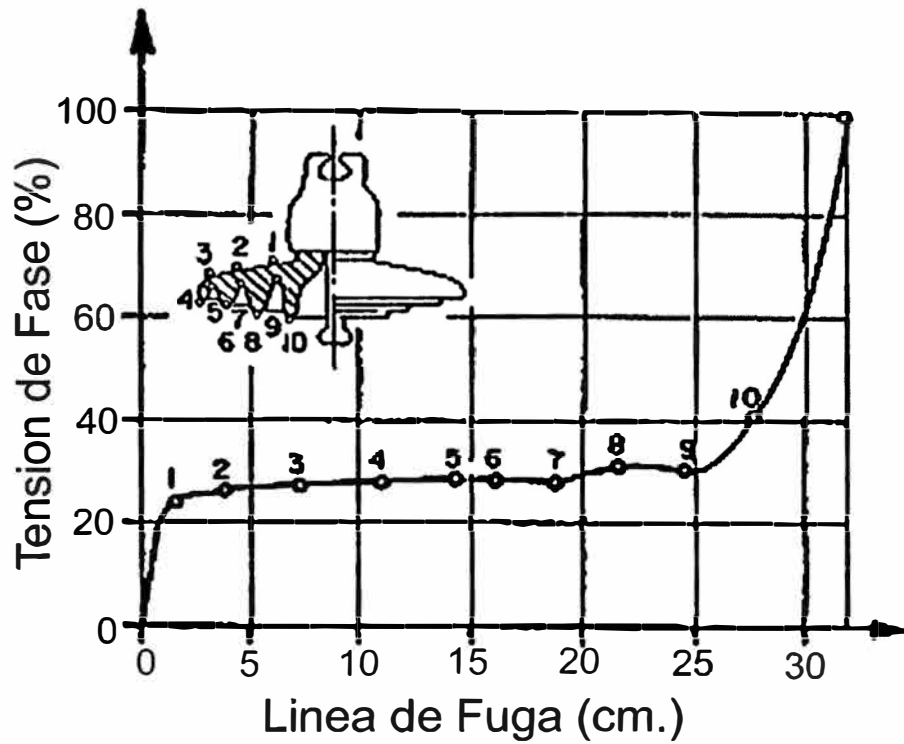


Fig. N° 1 – Distribución de tensión sobre la superficie limpia de un aislador

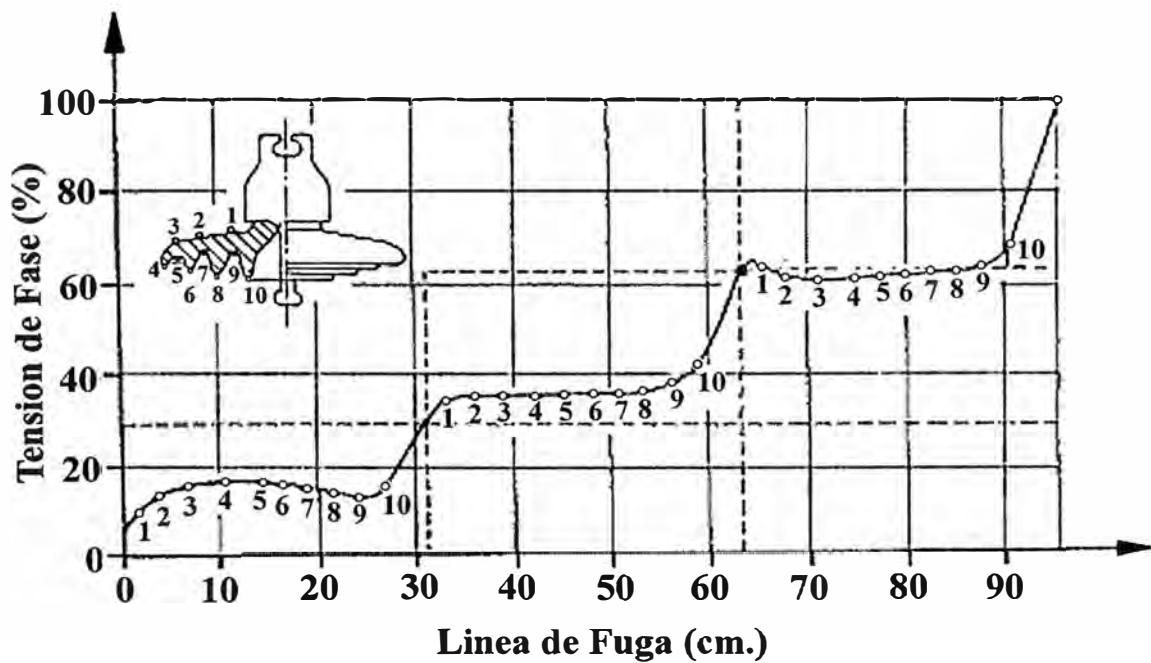


Fig. N° 2 – Distribución de tensión sobre la superficie limpia de tres aisladores Caperuza – Pin en serie

C	=	Capacidad propia del aislador
R	=	Resistencia Superficial del Fuga del Aislador
C_L	=	Capacitancia Parásita a la Línea
C_T	=	Capacitancia Parásita a Tierra

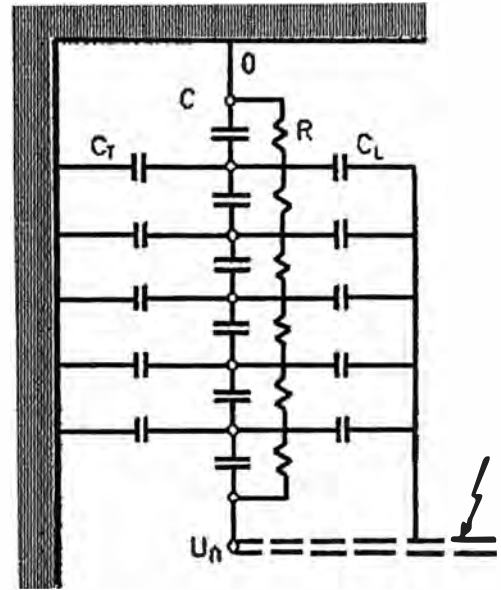


Fig. N° 3 - Representación eléctrica equivalente a una cadena de aisladores energizada

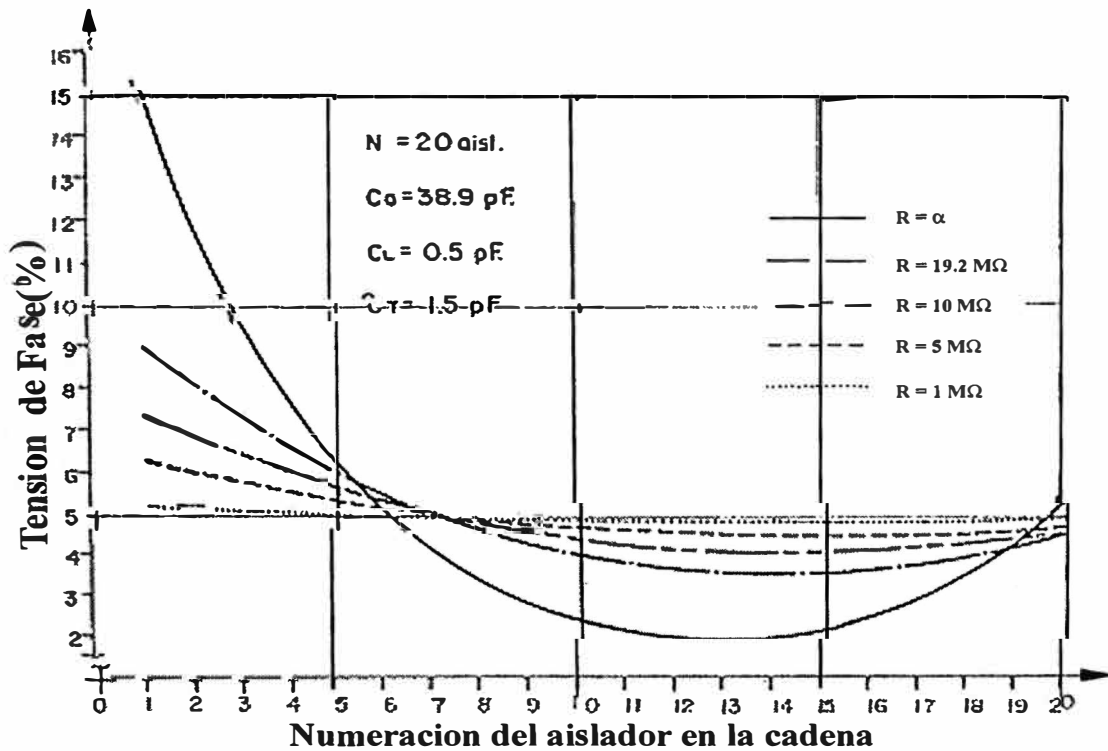


Fig. N° 4 - Variación porcentual de la distribución de tensión en una cadena de 20 aisladores

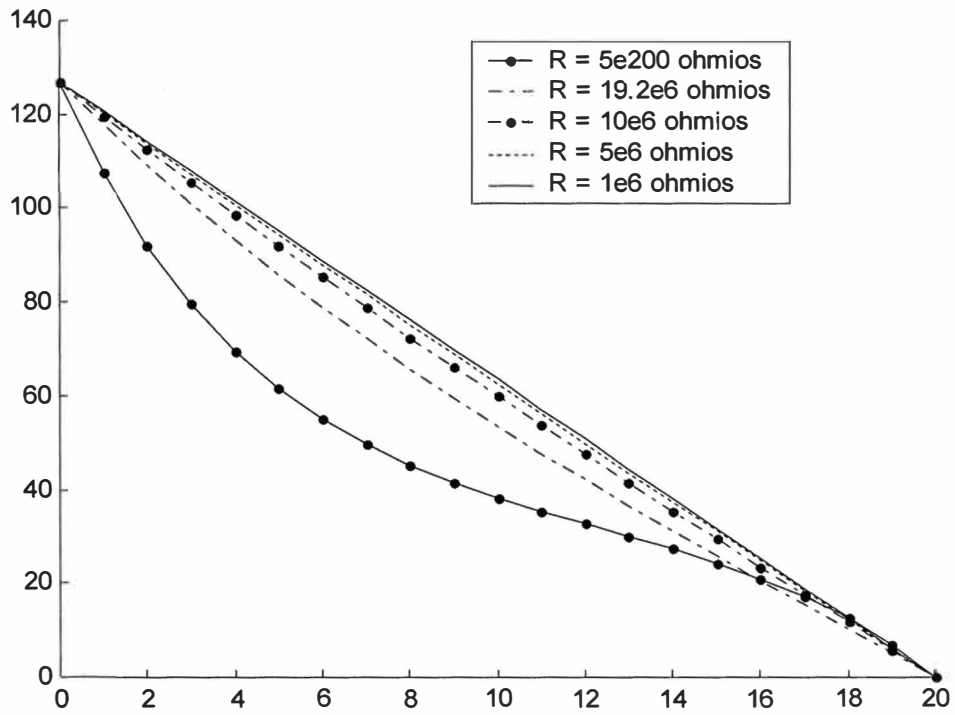


Fig. N° 5 – Distribución de tensión en una cadena de N=20 Aisladores

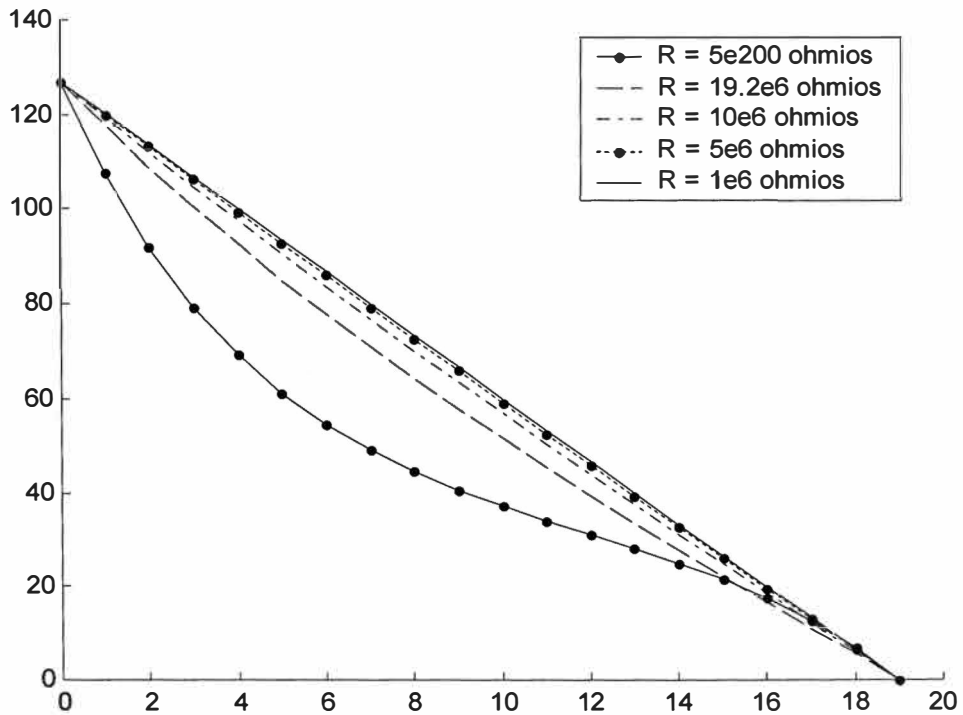


Fig. N° 6 – Distribución de tensión en una cadena de N=19 Aisladores

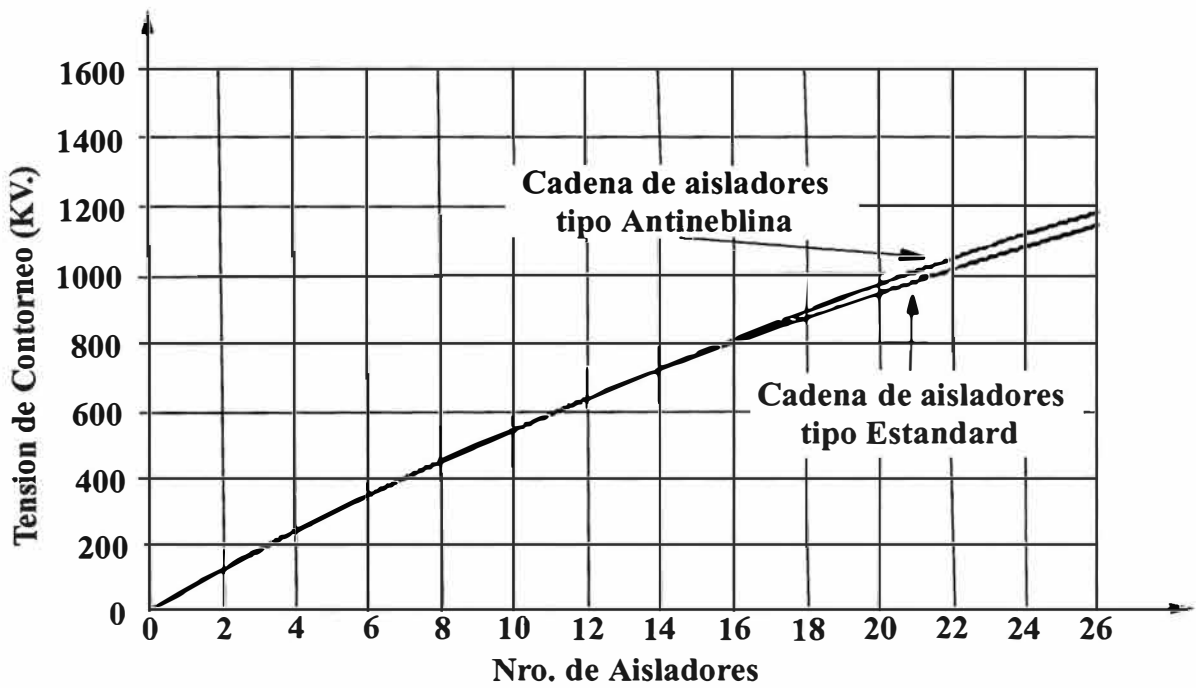


Fig. N° 7 – Variación de la tensión de contorneo a 60 c/seg de cadena de aisladores limpia y seca del tipo estándar y antineblina

(Espaciamiento = 146 mm y $\phi = 254$ mm) con el N° de Aisladores

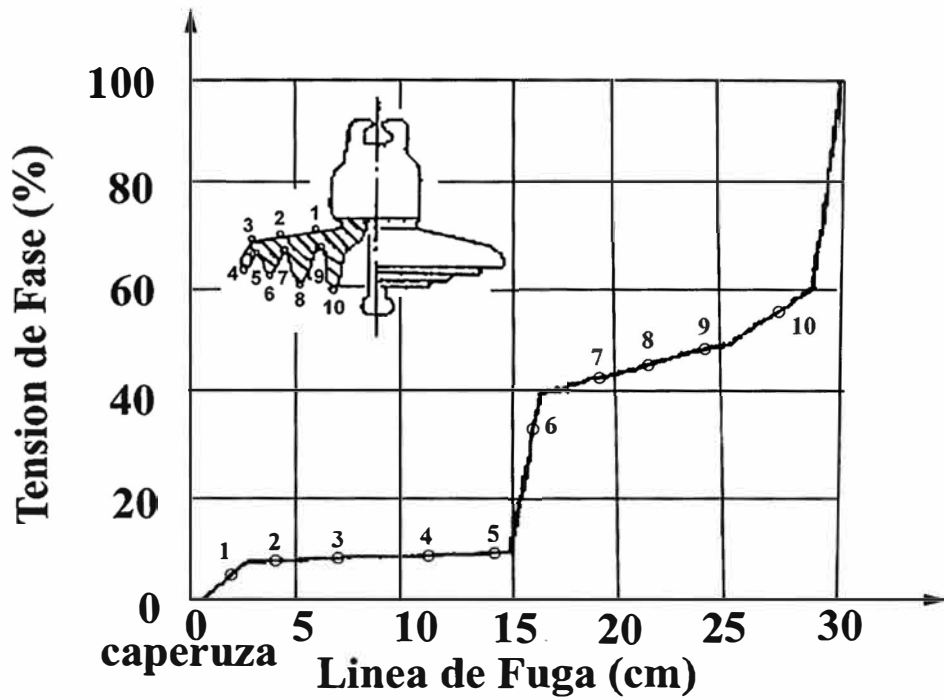


Fig. N° 8 – Aproximada distribución de la tensión de un aislador con una contaminación húmeda.

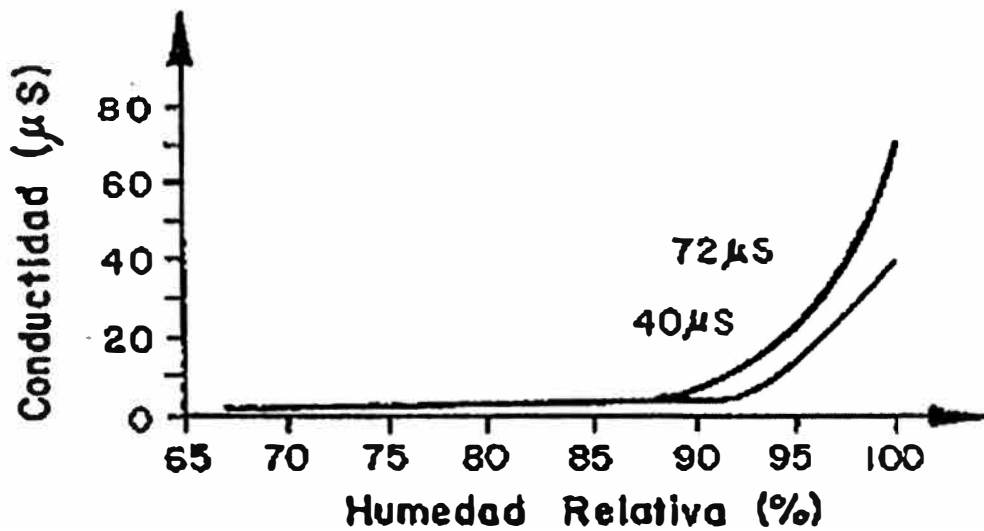


Fig. N° 9 – Variación de la conductividad de dos capas de contaminación obtenidas del desierto expuestas a humedades relativas.

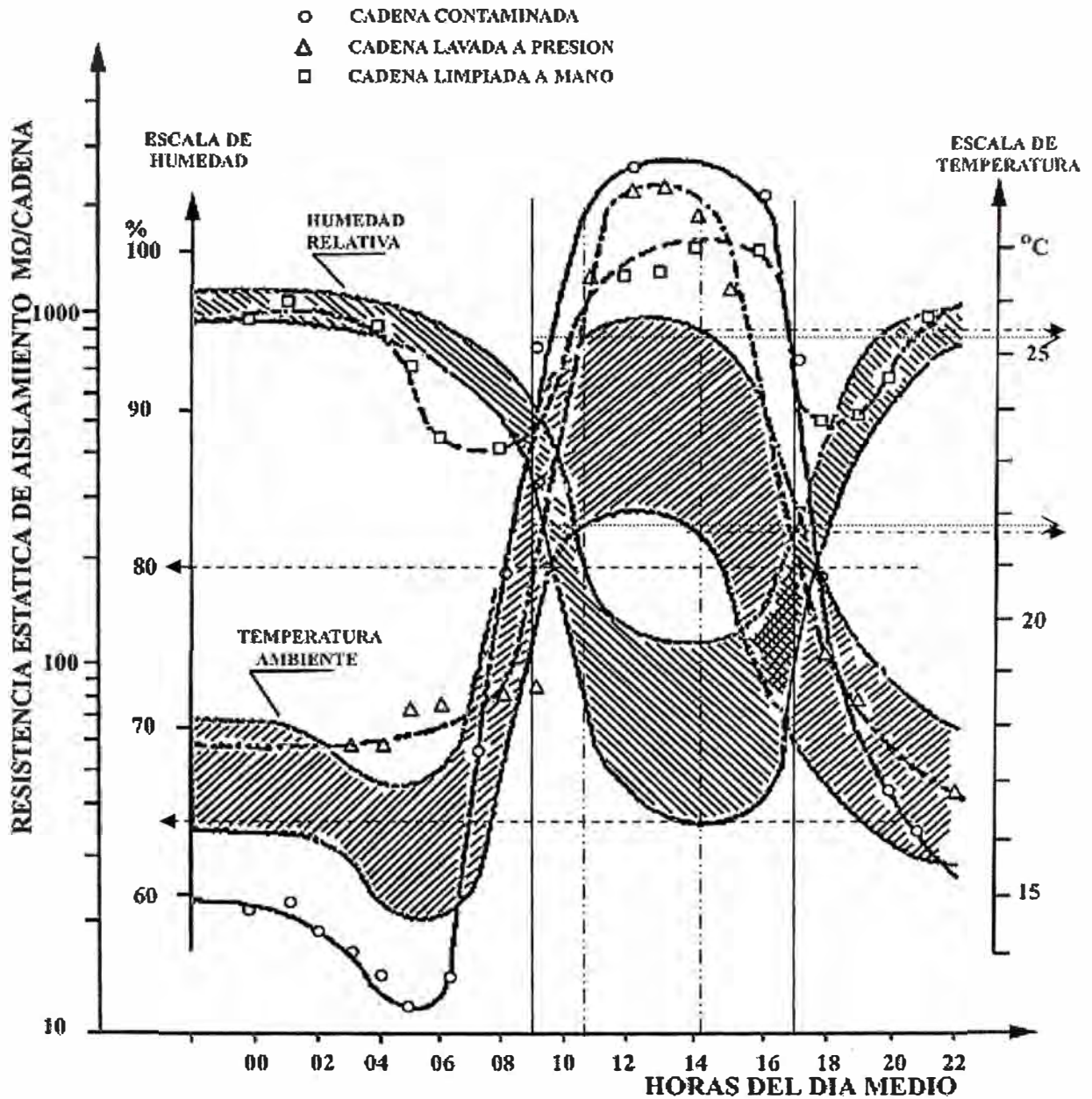


Fig. Nº 10 – Variación de la resistencia superficial de fuga medida en el aislamiento de una línea de 220 kV medida en un tramo de 12 Km desenergizada.

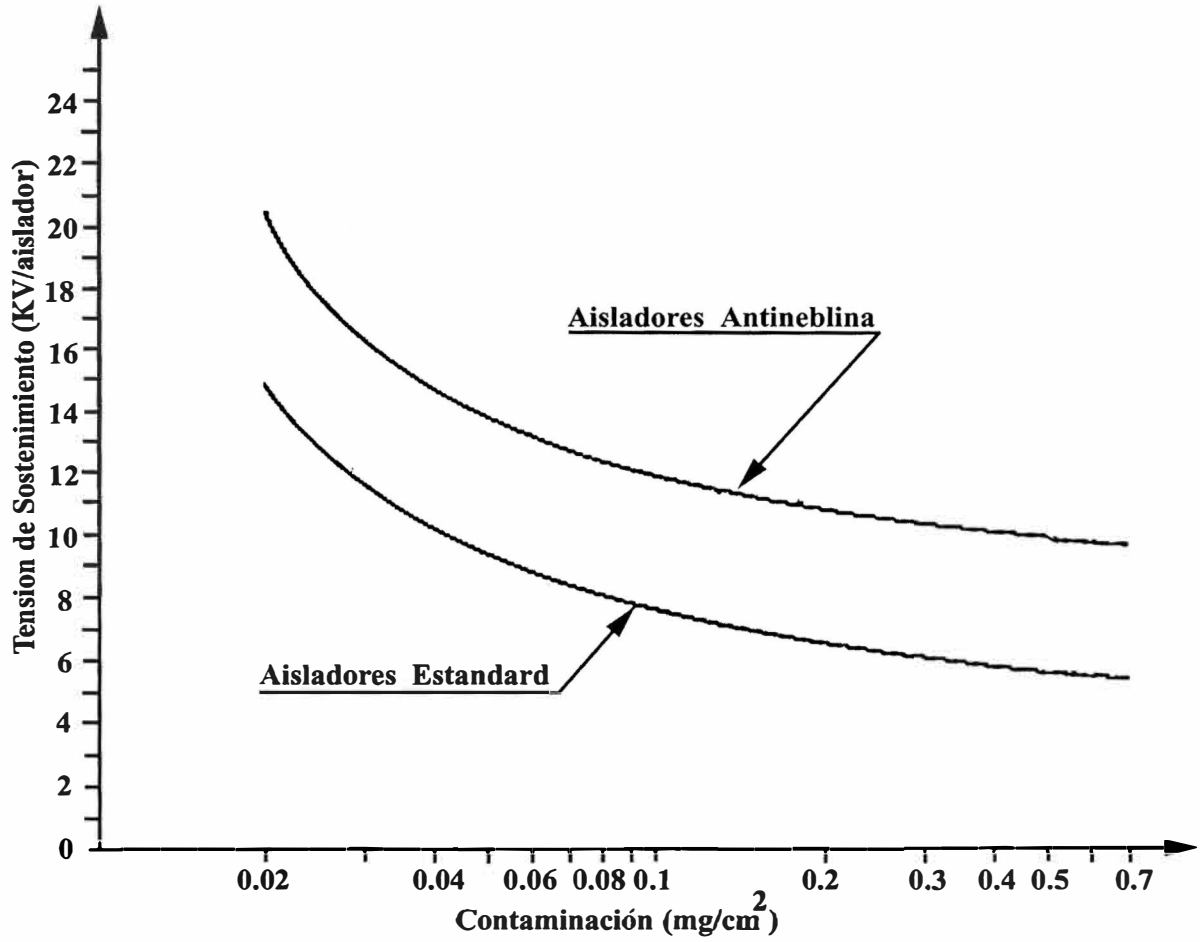


Fig. N° 11 - Curvas que relacionan la tensión de sostenimiento con el grado de contaminación de los aisladores estándar y antineblina

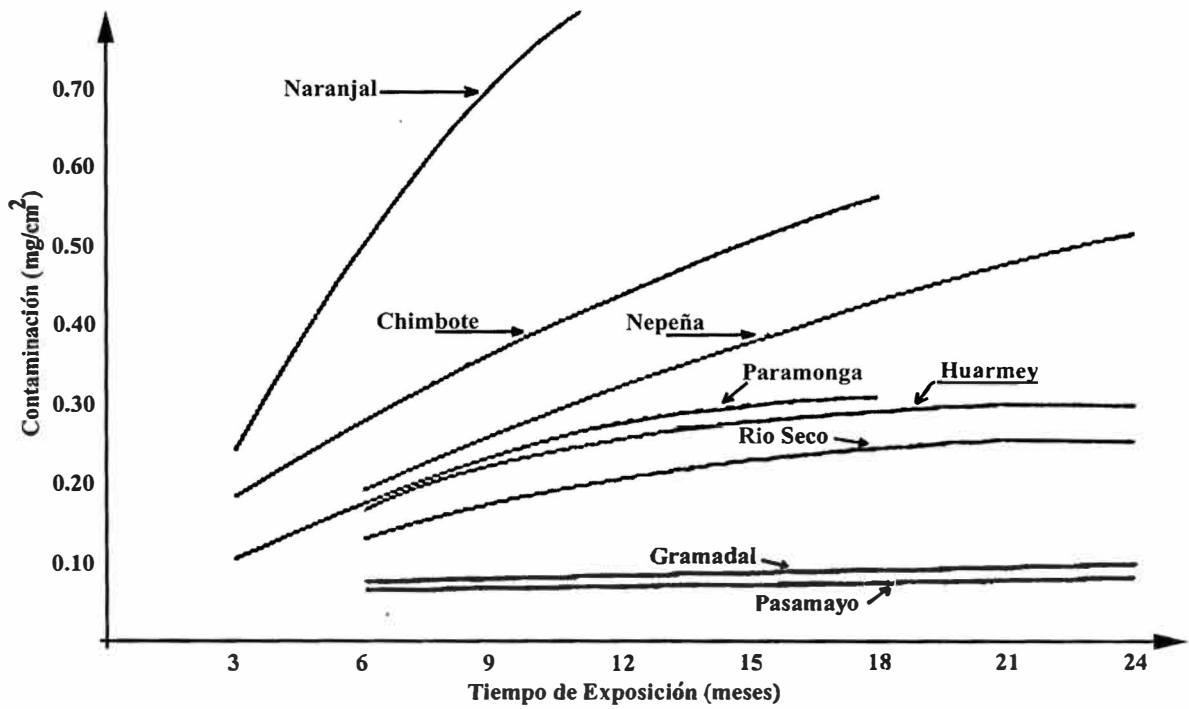


Fig. N° 12 – Curvas que muestran la variación de la contaminación en la superficie inferior de los aisladores de porcelana Tipo Antineblina obtenida en ocho zonas de la ruta de la línea Lima – Chimbote.

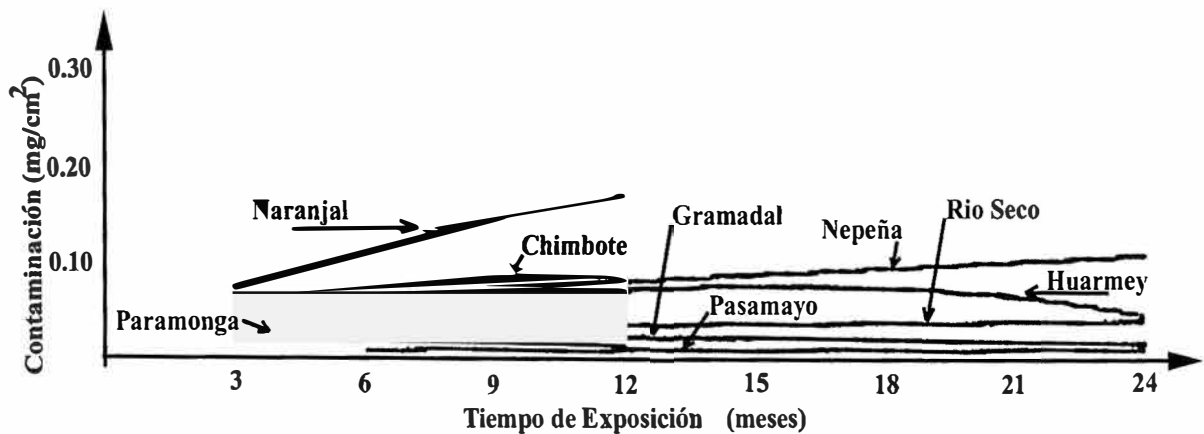


Fig. N° 13 - Curvas que muestran la variación de la contaminación en la superficie superior de los aisladores de porcelana Tipo Antineblina obtenida en ocho zonas de la ruta de la línea Lima – Chimbote.






Aisladores					
Parametros					
Diametro (mm.)	254	254	254	285	267
Espaciamento (mm.)	146	146	146	146	146
Linea de Fuga Total (mm.)	292	292	432	432	420
Linea de Fuga Superior (mm.)	106	108	157	145	192
Linea de Fuga Inferior (mm.)	186	184	275	297	228
Sop. de Lavado Superior (cm.²)	625	625	985	970	1300
Sop. de Lavado Inferior (cm.²)	800	800	1300	1620	1050
Factor de Forma	0.676	0.685	0.923	0.917	0.870
Marca Tipo Material	NGK Estandard Porcelana	Sediver Estandard Vidrio	NGK Antineblina Porcelana	Sediver Antineblina Vidrio	NGK Campana Porcelana

Tabla Nº 2 - Características geométricas de 6 tipos de aisladores

CAPÍTULO IV

DISTANCIAS MÍNIMAS EN EL AIRE Y DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA CAMBIO DE HERRAJES DE SUJECCIÓN.

En este Capítulo se efectuará la descripción de las distancias mínimas en el aire que deben mantener los conductores de una línea de transmisión respecto a tierra, para garantizar el adecuado nivel de aislamiento, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas prevalecientes en el sitio y con cuyo valor se establecerán los valores básicos de distancia de seguridad.

De igual forma se describirán las distancias de seguridad necesarias para conservar la integridad del personal al realizar el cambio de accesorios de sujeción de cadenas de aisladores con línea energizada.

4.1. DIMENSIONAMIENTO DE DISTANCIAS MÍNIMAS EN AIRE.

Los conceptos aquí expuestos son una adaptación de un artículo de SPRECHER NEWS de Marzo de 1995 escrito por el Dr. Wener Bûsh.

Además las recomendaciones IEC presentadas a continuación son una ayuda para planificar las distancias mínimas en aire de forma confiable para desarrollar trabajos con línea energizada.

4.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE DISTANCIAS MÍNIMAS EN AIRE PARA CONDICIONES ATMOSFÉRICAS ESTÁNDAR.

Las publicaciones IEC 71-1 y 3 definen los niveles de aislamiento normalizados para instalaciones eléctricas correspondientes a las tensiones máximas U_m permisibles con combinación de dos componentes, a saber:

Las tensiones soportadas nominales de impulso atmosférico y de frecuencia industrial de corta duración, para equipos con U_m menor de 300 kV;

Las tensiones soportables de impulso atmosférico y de maniobra para equipos con U_m igual o mayor de 300 kV.

En nuestro tema de trabajo en líneas de 220 kV solo evaluaremos el primer caso donde U_m es menor de 300 kV.

Para el dimensionamiento de las distancias mínimas en aire sólo es determinante aquella componente que produce el más fuerte esfuerzo para un tipo dado de electrodos. En el rango $U_m < 300$ kV ésta es generalmente la tensión de impulso atmosférico con polaridad positiva.

En la Tabla (4.1) se presenta los valores de las separaciones mínimas en aire fase a tierra y fase a fase para $U_m \geq 52$ kV junto con los valores de los varios niveles normalizados de aislamiento según las publicaciones IEC 71 – 2 y 3.

Los diseñadores utilizan las distancias mínimas en aire, también llamadas distancias críticas, recomendadas por la IEC o se apoyan en valores empíricos apropiados. En muchos casos es difícil estimar correctamente la influencia de numerosos parámetros que afectan el dimensionamiento de los aislamientos en aire particularmente los que se relacionan con la configuración de electrodos, por ejemplo el tamaño y la forma de estos. Esto se aplica también a esfuerzos climáticos fuertemente diferentes de las condiciones atmosféricas normalizadas o estándar. El

resultado es a menudo un sobre dimensionamiento o un sub dimensionamiento de las distancias en aire.

Es útil por consiguiente un examen mas cercano de los valores de separaciones mínimas en aire bajo condiciones atmosféricas estándar representativos de instalaciones de alta tensión a la intemperie y su comparación con los valores recomendados por la IEC. Ya que los esfuerzos eléctricos críticos para las distancias en aire ocurren en forma predominante para los valores de $U_m < 300$ kV como resultados de sobre tensiones atmosféricas.

a. DISTANCIAS MÍNIMAS EN AIRE RANGO $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

En este rango los impulsos atmosféricos de polaridad positiva representan generalmente el mas alto esfuerzo para una configuración de electrodos. Las separaciones mínimas en aire para aislamiento fase a tierra y fase a fase pueden determinarse con los niveles de aislamiento estándar seleccionados es decir, las tensiones nominales soportadas al impulso atmosférico $U_{0,w}$.

El dimensionamiento de las distancias mínimas en aire se efectúa en este caso en base al esfuerzo eléctrico de una onda normalizada de impulso atmosférico de $+1,2 \times 50 \mu s$. La tensión de flameo 50% de probabilidad U_{B50} para una configuración de electrodos puede expresarse con la formula general:

$$U_{B50} = E_{\delta} \cdot d \quad (\text{kV}) \quad (4.1)$$

Donde:

d = Separación de electrodos en metros

E_{δ} = Gradiente medio positivo al 50% de probabilidad de flameo en kV/m.

La tensión de flameo al 50% varía proporcionalmente con la separación de electrodos.

Según la publicación IEC 71 – 1, la tensión de impulso soportada U_w bajo cualquier condición, puede calcularse a partir de la tensión de flameo al 50 % por la fórmula:

$$U_w = U_{B50} (1 - 1,3\sigma) \quad (4.2)$$

Donde σ es la desviación estándar cuando se asume una distribución gaussiana del flameo.

Tomando en cuenta las ecuaciones (4.1) y (4.2) la separación mínima en aire requerida d_{\min} para condiciones atmosféricas estándar es:

$$d_{\min} = 1,04 \left(\frac{U_{0,w}}{E_{\delta}} \right) \quad (4.3)$$

Donde:

d_{\min} = Separación mínima en metros en condiciones atmosféricas estándar

$U_{0,w}$ = Tensión nominal soportada (o tensión de sostenimiento) al impulso atmosférico en kV.

Como desviación estándar se toma $\sigma = 0,03$ de acuerdo con la IEC para pruebas de impulso atmosférico. La ecuación (4.3) se aplica a distancias fase a tierra y fase a fase.

La Tabla (4.2) da valores aproximados para E_δ representativos de varias configuraciones prácticas de electrodos.

Reemplazando E_δ por 520 kV/m, en la ecuación (4.3) se obtiene una buena aproximación a los valores de d_{\min} recomendados por la IEC se indica en la ecuación (4.4). Para los varios tipos de separaciones en aire que se presentan en instalaciones de alta tensión a la intemperie, los valores de E_δ están generalmente entre 520 y 550 kV/m.

$$d_{\min} = 0,002 \cdot U_{0,w} \quad (4.4)$$

Debe notarse finalmente que en la práctica el dimensionamiento de distancias mínimas en aire con base en esfuerzos atmosféricos se cumple a menudo hasta las máximas tensiones para equipos con $U_m \leq 245$ kV solamente.

4.1.2. DISTANCIAS MÍNIMAS EN AIRE CON REFERENCIA A CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EXTREMAS.

Las distancias mínimas en aire obtenidas mediante la ecuación (4.4) lo mismo que las recomendadas por la IEC se aplican únicamente a las condiciones atmosféricas estándar (presión de aire 1013 milibares, temperatura ambiente 20 °C y humedad absoluta del aire 11 g/m³). Un cambio pronunciado en estas condiciones puede afectar en forma considerable el dimensionamiento de las distancias mínimas en aire.

A continuación se describe un método para considerar las condiciones atmosféricas extremas.

La convención de tensiones de prueba a condiciones atmosféricas estándar es un procedimiento conocido en la técnica de pruebas de laboratorios de alta tensión. Por ejemplo, las pruebas de flameo para la determinación de la rigidez dieléctrica del aislamiento externo se llevan a cabo frecuentemente en varios laboratorios de alta tensión con el mismo arreglo, pero a menudo bajo condiciones atmosféricas completamente diferentes. Constituye una práctica común convertir los valores de tensión de flameo de la prueba a aquellos valores que serían obtenidos bajo condiciones atmosféricas estándar. En esta forma, los resultados de prueba se vuelven comparables.

Según la publicación IEC 60-1, la corrección de los valores medidos de tensión U_1 a valores U_0 bajo condiciones atmosféricas estándar debe hacerse mediante la siguiente ecuación:

$$U_0 = \left(\frac{k_h}{k_d} \right)^n \cdot U_1 \quad (4.5)$$

Donde:

k_h y k_d = Factores de corrección de la densidad del aire y la humedad, respectivamente.

n = Factor de variación obtenida experimentalmente del efecto de la humedad y la densidad del aire con la separación del espacio en el aire. Depende del tipo de tensión y de la polaridad del impulso de tensión aplicado. La expresión (4.5) se aplica en general tanto, para valores de tensión de flameo como de tensión soportada.

En esta forma, la conversión del valor de la tensión soportada nominal de impulso bajo condiciones atmosféricas estándar, U_0 a cualquier condición específica $U_{1,w}$ se obtiene de acuerdo con la fórmula:

$$U_{1,w} = \left(\frac{k_h}{k_d} \right)^{-n} . U_0$$

$$U_{1,w} = (k_{atm})^{-n} . U_0 \quad (4.6)$$

Donde k_{atm} es el influjo total de los parámetros atmosféricos.

Los factores de corrección recomendados son sin embargo, factores de corrección de tensión y no pueden usarse directamente para fines de corrección de distancias. La conversión debe hacerse considerando la característica correspondiente de tensión soportada contra distancia.

La relación lineal de la variación de la tensión soportada de impulso con la separación del espacio en el aire de una configuración de electrodos cuando se aplican impulsos de tipo atmosféricos, puede calcularse de las ecuaciones (4.1) y (4.2) bajo condiciones atmosféricas estándar ($k_{atm} = 1$) esta relación es dada, usando $\sigma = 0,03$, por lo tanto:

$$U_o = 0,961 . E_\delta . d$$

y se convierte con la ecuación (4.6) bajo cualquier otra condición atmosférica (k_{atm}) en:

$$U_{1,w} = 0,961 . (k_{atm})^{-n} E_\delta . d \quad (4.7)$$

En el calculo de la distancia mínima a condiciones atmosféricas extremas, el valor de la tensión nominal soportada a impulso atmosférico $U_{0,w}$ no varia y debe ser igual a $U_{1,w}$ (La tensión nominal que soporta una línea de transmisión de 220 kV es igual en la costa que en la sierra el que se modifica es la distancia de aislamiento, siendo mayor en la última), en tanto “ d ” debe aumentarse de $d_{0\min}$ a $d_{1\min}$.

La distancia mínima en aire requerida $d_{1\min}$ se obtiene entonces de la ecuación (7) reemplazando $U_{1,w} = U_{0,w}$ y $d = d_{1\min}$:

$$d_{1\min} = 1,04(k_{atm})^n \left(\frac{U_{0,w}}{E_{\delta}} \right) \quad (4.8)$$

Reemplazando E_{δ} por 520 kV/m, en la ecuación (4.8) se obtiene:

$$d_{1\min} = 0,002(k_{atm})^n (U_{0,w})$$

Tomando en cuenta la ecuación (4.3) y la (4.8) puede reducirse a:

$$d_{1\min} = (k_{atm})^n (d_{0\min}) \quad (4.9)$$

Existen dificultades en la adecuada determinación de los factores de corrección atmosférica apropiados.

Las condiciones atmosféricas extremas están relacionadas ya sea con variaciones pronunciadas de presión (por ejemplo altas cotas geográficas) o con variaciones notables de temperatura y/o humedad (por ejemplo áreas desérticas o en la costa).

Desde el punto de vista práctico, es más ventajoso en estos casos particulares definir factores de corrección k_p , k_v y k_h para presión “ p ”, temperatura “ v ” y humedad absoluta “ h ” individualmente.

$$k_p = \frac{1}{1 + \left(\frac{K_p}{100}\right)(p - p_0)}$$

$$k_v = \frac{1}{1 + \left(\frac{K_v}{100}\right)(v - v_0)} \quad (4.10)$$

$$k_h = \frac{1}{1 + \left(\frac{K_h}{100}\right)(h - h_0)}$$

Donde “ p ” está en milibares, “ v ” en °C y “ h ” en g/m³

Los coeficientes K_p , K_v y K_h se llaman respectivamente “coeficiente de presión, coeficiente de temperatura y coeficiente de humedad absoluta”.

La variación lineal solo es valida hasta los 2500 msnm, con cuya altitud y condiciones atmosféricas se restringe el presente informe en el cambio de accesorios de sujeción de las líneas de transmisión costeras.

Por razones físicas puede asumirse que la rigidez al flameo de una distancia en aire dada aumenta con la presión del aire y la humedad absoluta y disminuye con la temperatura ambiente. El factor total de corrección k_{atm} para valores de tensión puede por lo tanto expresarse como:

$$k_{atm} = k_p \cdot k_v \cdot k_h \quad (4.11)$$

Y los valores nominales de tensión pueden así convertirse a condiciones atmosféricas estándar por medio de la expresión:

$$U_0 = (k_{atm})^n U_1 \quad (4.12)$$

Con base en un análisis del conocimiento disponible en relación con los efectos de los parámetros atmosféricos sobre el comportamiento disruptivo de los espacios en aire, los valores para las constantes individualidades se determinaron de acuerdo con las siguientes consideraciones:

Para cualquier distancia dada en aire, existe una relación lineal entre la tensión de flameo U_B y la presión de aire al menos en el rango:

$$500 \text{ mbar} < p < 1000 \text{ mbar}$$

entre U_B y la temperatura del aire al menos en el rango:

$$0 \text{ }^\circ\text{C} < v < 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

y entre U_B y la humedad absoluta del aire al menos en el rango:

$$0 \text{ g/m}^3 < h < 25 \text{ g/m}^3$$

Los siguientes valores para los coeficientes K_p , K_v y K_h fueron estimados a partir de resultados experimentales.

$$K_p = 0,1\% \text{ por mbar}$$

$$K_v = -0,3\% \text{ por } ^\circ\text{C} \quad (4.13)$$

$$K_h = 1,0\% \text{ por g/m}^3$$

Los valores dados pueden considerarse como representativos para los varios tipos de separaciones en instalaciones de alta tensión a la intemperie.

Para tensiones de impulso atmosférico positivas el influjo de los parámetros atmosféricos en U_B de cualquier configuración de electrodos es independiente de la distancia en aire, es decir, el exponente "n" en la expresión (4.12) es igual a 1.

Puesto que no están disponibles resultados experimentales, el mismo exponente "n" se usará para configuraciones de electrodos fase a tierra y fase a fase.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, las distancias mínimas en aire bajo condiciones atmosféricas extremas pueden ser determinadas como sigue:

a. DISTANCIAS MÍNIMAS EN CONDICIONES ATMOSFÉRICAS EXTREMAS RANGO $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$.

Para evaluar la condición atmosférica crítica durante la actividad de cambio de accesorios de sujeción, debemos tener en cuenta lo siguiente:

$$d_{1 \min} = (k_{atm})^n (d_{0 \min}) \quad n = 1$$

$$d_{0 \min} = 0,002 \cdot U_{0,w}$$

k_{atm} : De acuerdo con la ecuaciones (4.11), (4.10) y (4.13).

En nuestro caso la labor de cambio de ferretería con línea energizada se realizará en horario diurno de 09:00 a 17:00 hrs. Dicho horario se evalúa las peores condiciones de humedad absoluta en la Figura (3.10), donde

muestra el comportamiento de temperatura con la humedad relativa de nuestra zona costera.

Para analizar la peor condición tomamos como referencia que la humedad relativa debe ser menor a 80 % determinado por el comportamiento del aislamiento tratado en el Capítulo 3, con el cual se toman muestras:

Hora 10:30 hrs

Se tiene una humedad relativa de 80% con una temperatura mínima de 21.8 °C, se obtiene una humedad absoluta de 15 g/m³.

Se tiene una humedad relativa de 80% con una temperatura máxima de 25.3 °C, se obtiene una humedad absoluta de 18 g/m³.

Hora 14:00 hrs

Se tiene una humedad relativa de 65% con una temperatura mínima de 21.5 °C, se obtiene una humedad absoluta de 12 g/m³.

Se tiene una humedad relativa de 65% con una temperatura máxima de 25.5 °C, se obtiene una humedad absoluta de 15 g/m³.

La peor condición de humedad absoluta de 18 g/m³ se observa con la mayor humedad relativa y mayor temperatura, siendo esta el valor inicial y según aumenta las horas la humedad absoluta se va reduciendo a la condición atmosférica estándar de 11g/m³, resultando en tal caso k_h .

$$k_h = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{100}\right)(11 - 18)} = 1.075$$

Asimismo como la presión es constante $k_p = 1$

Con relación a la temperatura tenemos una variación de:

$$20 \text{ } ^\circ\text{C} < v < 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k_v = \frac{1}{1 + \left(\frac{-0.3}{100}\right)(30 - 20)} = 1.03$$

Por lo tanto:

$$k_{atm} = (1.075)(1)(1.03) = 1.11$$

Finalmente se determina:

$$d_{1\min} = 0,0022 \cdot U_{0,w} \quad (4.14)$$

Los resultados de la ecuación (4.14) se observan en la Tabla N° 6.

4.2. DISTANCIAS DE SEGURIDAD.

El criterio utilizado para determinar las distancias de seguridad se basa en el artículo publicado por el Comité N° 23 de la CIGRE en la revista ELECTRA N° 19. Como distancias de seguridad se designan las distancias mínimas que deben ser mantenidas en el aire entre partes energizadas de equipos (conductores) y tierra, o equipos (conductores) sobre los cuales sea necesario llevar a cabo un trabajo.

La distancia de seguridad es la suma de los siguientes valores:

Un valor básico relacionado con el nivel de aislamiento, el cual determina una “zona de guarda” alrededor de las partes energizadas.

Un valor que es función de movimientos del personal de mantenimiento así como de tipo de trabajo y la maquinaria usada. Esto determina una “zona de seguridad” dentro de la cual queda eliminado cualquier peligro relacionado con acercamientos eléctrico.

4.2.1. CALCULO DEL VALOR BÁSICO.

El valor básico debe garantizar el espaciamiento adecuado para prevenir cualquier riesgo de flameo aún bajo las condiciones más desfavorables.

El valor básico está determinado por las distancias mínimas en aire fase-tierra correspondientes al nivel de aislamiento, incrementadas un 5 ó 10% como factor de seguridad para tener en cuenta tolerancias en la fabricación y montaje del equipo así como diferencias de un fabricante a otro.

Normalmente el valor base corresponde a la distancia mínima fase-tierra en el aire, la cual se determina de acuerdo con lo estipulado en el Numeral 1 de este Capítulo. Para efectos de simplicidad se pueden tomar los valores mayores (barra – estructura) de las distancias mínimas fase-tierra descrita en la Tablas N° 3, obteniéndose así los valores básicos para diferentes niveles de aislamiento; si es del caso, dichas distancias se deben corregir para condiciones atmosféricas extremas.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE SEGURIDAD.

Es necesario incrementar el valor básico en una cantidad variable que depende de la altura del personal de mantenimiento y de la naturaleza del

trabajo sobre el equipo, incluyendo los requerimientos de movimiento y acceso. Las dimensiones promedio a considerar son una función de la altura de los operadores y de los diferentes movimientos que éstos puedan efectuar. Dichas dimensiones se ilustran en la Figura N° 15 y N° 16.

4.3. DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA EL CAMBIO DE ACCESORIOS DE SUJECIÓN CON LINEA ENERGIZADA.

Las distancias de seguridad se pueden resumir tal como se muestra en la Tabla N° 5 para Condiciones Estándar y se puede concluir con la ecuación (14) los valores para Condiciones Extremas las mismas se observan en la Tabla N° 6.

El personal que efectuó el cambio de accesorios de sujeción de cadena de suspensión debe mantenerse alejado a una distancia del conductor mayor del valor básico.

El movimiento del personal en el extremo de la ménsula de la Torre durante las maniobras, será la posición inclinado apoyado en sus rodillas, sentado como máximo, sin elevar los brazos, por lo que alcanzará la altura de 1.2 m. respecto a la horizontal.

La intervención propuesta se realizará en una línea de 220 kV, cuya tensión más elevada U_m fase – tierra sería 127 kV. Entonces de la Tabla N° 6 podemos determinar el valor de 650 kV la tensión nominal soportada a impulso atmosférico (BIL) para mayor seguridad, la misma aplicaría para la Tabla N° 5.

El valor básico en condiciones estándar sería de 1.52 m y en condiciones extremas sería de 1.64 m.

Aumentando el valor de altura de zona de seguridad determinado por el movimiento del personal de mantenimiento se tendría finalmente la distancia de seguridad:

Condiciones atmosféricas estándar

$$DS_{est} = 1.52 \text{ m} + 1.20 \text{ m} = 2.72 \text{ m}$$

Condiciones atmosféricas extremas (HR 80% y 25 °C)

$$DS_{ext} = 1.57 \text{ m} + 1.20 \text{ m} = 2.77 \text{ m}$$

Se concluye que la distancia de seguridad para efectuar el cambio de accesorios de sujeción de cadenas de suspensión, en condición extrema el conductor superior debe estar alejado una distancia mayor a 2.77 m con respecto a la horizontal de la mensula donde se ubica el operario.

En el Anexo del presente informe se esquematiza la actividad de cambio de accesorios de sujeción en una estructura de la línea Lima – Chimbote 220 kV considerando el Valor Básico, Zona de Seguridad y Distancia de Seguridad. En la figura se observa que el conductor tiene una distancia de 2.86 m., mayor a la distancia de seguridad de 2.77 m.

Previo a realizar trabajos con línea energizada debe revisarse necesariamente las distancias de seguridad para mantener alejado el conductor en condiciones seguras.

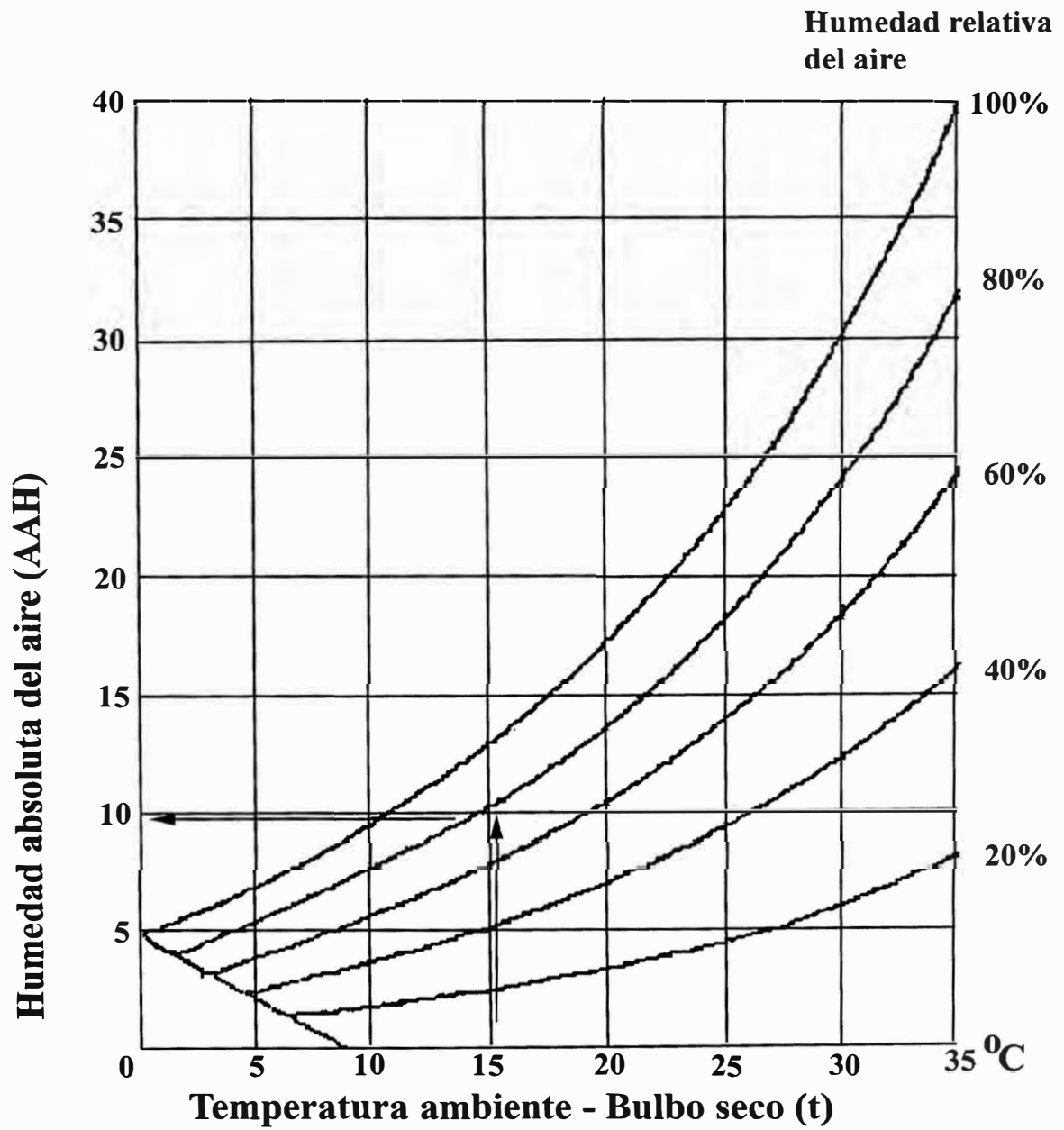
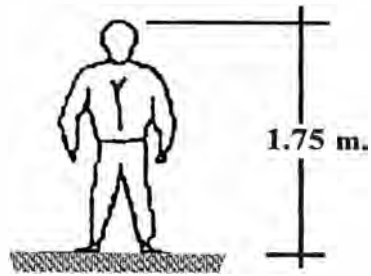
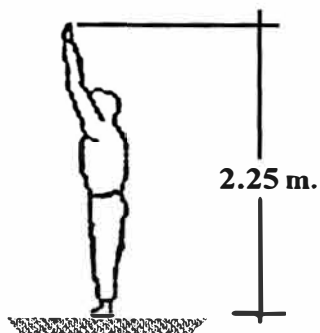


Fig. N° 14



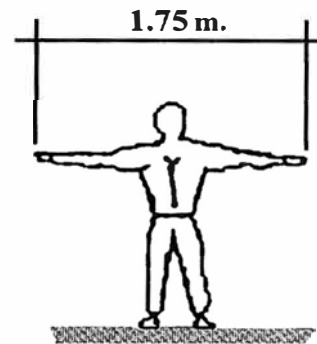
ALTURA PROMEDIO

(a)



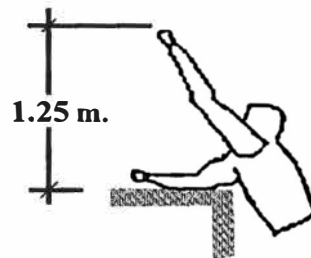
**BRAZOS ESTIRADOS
VERTICALMENTE**

(b)



**BRAZOS ESTIRADOS
HORIZONTALMENTE**

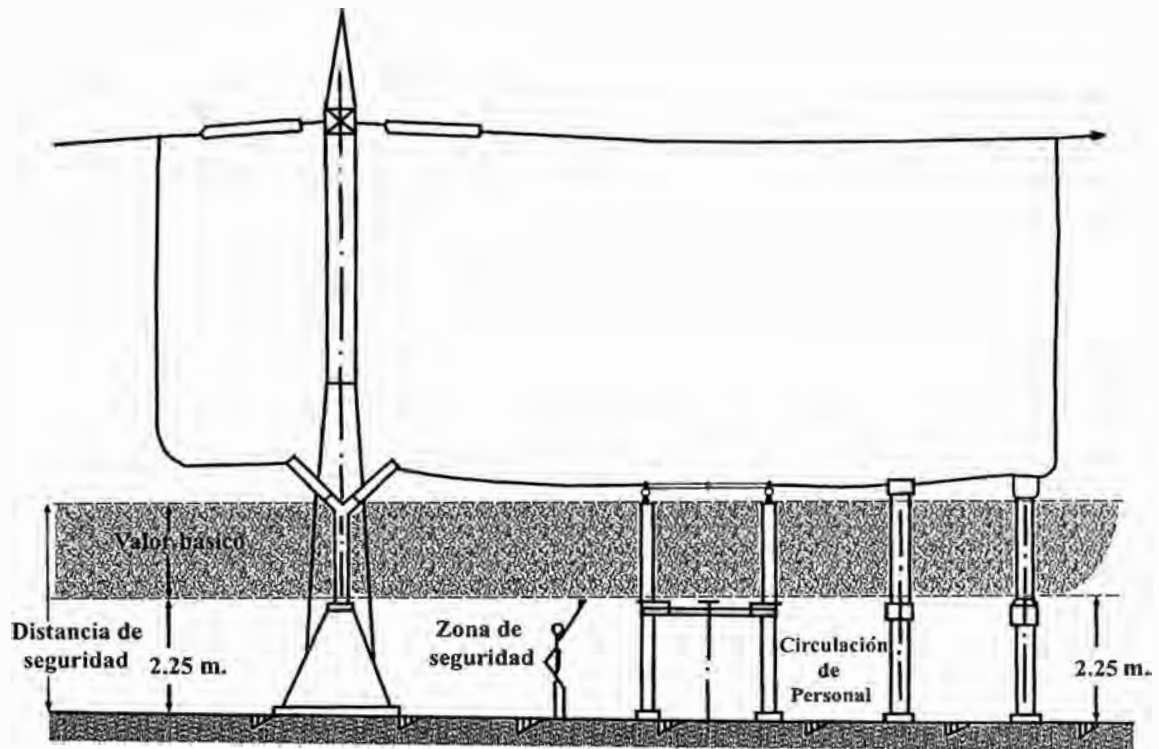
(c)



**MANO ALZADA SOBRE
PLANO DE TRABAJO**

(d)

Fig. N° 15



CONVENCIONES



-  Zona de Guardia - Valor Básico
-  Zona de Seguridad

Fig. N° 16

Tensión Nominal Soportada al Impulso Atmosférico Fase - Tierra y Fase - Fase ($U_{0,w}$)	Distancia mínima Fase - Tierra y Fase - Fase
(kV pico)	(m)
250	0.48
325	0.63
450	0.90
550	1.10
650	1.30
750	1.50
850	1.70
950	1.90
1050	2.10

Tabla N° 3 - Correlación Entre Niveles de Aislamiento y Distancias mínimas absolutas requeridas en el Rango 52 kV < U_m < 300 kV según la Publicación IEC 71 - 2


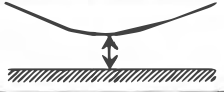
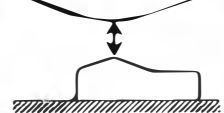
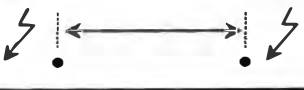
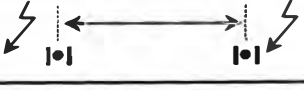
DISPOSICION DE ELECTRODOS		E_s (kV / m)
Punta - Placa		480
Cable - Tierra		550
Cable - Objeto a Tierra (Edificios, Vehículo, etc.)		550
Cable - Cable		550
Anillo de Protección - Anillo de Protección		550
IEC		~ 520

Tabla N° 4 - Gradiente Positiva E_s para algunas disposiciones técnicas en electrodos con esfuerzo por tensión de impulso atmosférico

BIL (kV pico) $U_{0,w}$ 1	Distancia Mínima (cm) 2	DISTANCIA DE SEGURIDAD		
		Valor Básico		
		Cantidad que se adiciona		Valor Basico (cm) 5 = 2+4
		en % 3	en cm 4	
250	48	10	5	53
325	63	10	6	69
380	75	10	8	83
450	92	10	9	101
550	115	10	12	127
650	138	10	14	152
750	162	10	16	178
825	180	10	18	198
900	196	10	20	216
1050	230	10	23	253

Tabla N° 5 - Valor básico de seguridad en el aire en condiciones estándar

Tensión Máxima U_m kV (Eficaz)	Tensión Soportada a Frecuencia Industrial en Seco o Bajo Lluvia por 1 min. kV (Eficaz)	Tensión Soportada al Impulso Atmosférico Onda Normalizada 1,2/50 μs BIL (kV pico) $U_{0,w}$ 1	Distancia Mínima (m) 2	DISTANCIA DE SEGURIDAD		
				VALOR BASICO		
				Cantidad que se adiciona		Valor Basico (m) 5 = 2 + 4
				en % 3	en metros 4	
52	95	250	0.55	10	0.06	0.61
72.5	140	325	0.72	10	0.07	0.79
123	185	450	0.99	10	0.10	1.09
	230	550	1.21	10	0.12	1.33
	275	650	1.43	10	0.14	1.57
145	185	450	0.99	10	0.10	1.09
	230	550	1.21	10	0.12	1.33
	275	650	1.43	10	0.14	1.57
170	230	550	1.21	10	0.12	1.33
	275	650	1.43	10	0.14	1.57
	325	750	1.65	10	0.17	1.82
245	275	650	1.43	10	0.14	1.57
	325	750	1.65	10	0.17	1.82
	360	850	1.87	10	0.19	2.06
	395	950	2.09	10	0.21	2.30
	460	1050	2.31	10	0.23	2.54

Tabla N° 6 - Niveles de aislamiento Fase - Tierra, Normalizados con Tensión Máxima $52 < U_m < 300$ kV IEC 71 - 2 y Valor Básico de Seguridad en el Aire en Condiciones Extremas

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL CAMBIO DE FERRETERIA

Muchas compañías eléctricas a través del mundo han implementado trabajos en líneas vivas (líneas con energía) para eliminar los problemas relacionados con la reparación de líneas que requieren cortes programados del servicio eléctrico.

Por ejemplo en Canadá, Hydro - Québec los trabajos en líneas energizadas fueron implementados a principios de los años 1950. Se desarrollaron métodos para trabajar en todos los voltajes, en líneas de distribución desde 1kV hasta 44 kV, sobre líneas de transmisión desde 69 kV hasta 735 kV. En este último caso de líneas de alto voltaje los registros de seguridad son elevados, ya que no se presentaron casos de fatalidad ni incidente de daños al personal, asimismo el número de cortes eléctricos disminuyó a menos de 15%.

En España, el primer trabajo en tensión que se realizó, lo fue hecho por la empresa COBRA el día 16 de mayo de 1968 en Sevilla (Dos Hermanas) en una línea de 15 kV El equipo de trabajo estaba integrado por un capataz y seis trabajadores, llevando a cabo el cambio de un apoyo de alineación de madera en una línea de 15 kV. Unos días más tarde, el 11 de julio, se llevó a cabo una demostración en Madrid, ante más de cuatrocientos

invitados (autoridades, técnicos de empresas eléctricas, medios de comunicación, etc.).

Desde el punto de vista legal, en los inicios estas técnicas no estaban reconocidas, los Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, vigente en aquellos años, prohibían expresamente realizar cualquier tipo de trabajo en instalaciones eléctricas sin el previo corte del suministro y la correspondiente puesta a tierra.

El presente Capítulo realiza una descripción de los diferentes métodos de trabajos con tensión utilizados a nivel mundial en la reparación de líneas de transmisión, con cuyos principios planteamos la nueva metodología para realizar el trabajo de cambio de ferretería el que hemos denominado "Método a Potencial Cero".

El novedoso método se resalta como un aporte importante al mantenimiento en caliente de líneas de transmisión 220 kV de las zonas costeras de nuestro país, las mismas que puede aplicarse en otros ámbitos adaptando el procedimiento a la realidad de la línea a intervenir.

5.1. TRABAJOS CON TENSIÓN

5.1.1. DEFINICIÓN.

El capítulo 651 del Vocabulario Electrotécnico Internacional (VEI) de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), se define el trabajo en tensión como "aquel durante el cual un trabajador entra en contacto con

elementos en tensión, o entra en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos o dispositivos que manipula”.

5.2. APORTES DE LOS TRABAJOS EN TENSIÓN

Como ya ha quedado apuntado en los párrafos anteriores, los trabajos en tensión nacen como una actividad directamente relacionada con la mejora de la calidad del suministro eléctrico, al permitir realizar los trabajos de mantenimiento o de ampliación de las instalaciones eléctricas sin necesidad de interrumpir el servicio a los abonados. Esta es la primigenia razón de ser de los trabajos en tensión. Ahora bien, el trabajar en un medio tan hostil y peligroso como es una instalación eléctrica en tensión, requirió desarrollar herramientas específicas, elementos de protección, adiestrar al personal, analizar y a veces ensayar previamente el trabajo a realizar, todo lo cual significó un muy importante valor añadido a los trabajos en tensión, como es la mejora de las condiciones de seguridad en que se realizan estos trabajos. Calidad y seguridad son pues un binomio que van indisolublemente unidos a los trabajos en tensión.

Los trabajos en tensión pueden evitar gran parte de las interrupciones. Estos trabajos se pueden llevar a cabo a todos los niveles de tensión, utilizando en cada caso el método más apropiado en función del nivel de la tensión y las características técnicas de la instalación en que se vaya a trabajar, así como en función de las condiciones del emplazamiento o lugar de trabajo.

La experiencia de los países que llevan a cabo trabajos en tensión, pone de manifiesto que hay menos accidentes en los trabajos bajo tensión que en trabajos análogos efectuados con la instalación desenergizada.

Para este tipo de actividad es necesario que los técnicos y trabajadores se involucren en la seguridad integrada, selección de personal, procedimientos de ejecución escritos, formación, habilitación y reciclaje de los técnicos y operarios, revisión y verificación de los equipos de trabajo, fichas de materiales, órdenes escritas de trabajo, etc., constituyen en los trabajos en tensión elementos cotidianos. Ellos son la causa y razón de ser de los altos niveles de seguridad que se alcanzan en estos trabajos y que en no pocos aspectos pueden considerarse como prototipos y guías para otras muchas actividades que se desarrollan en instalaciones eléctricas.

5.3. ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS TRABAJOS EN TENSIÓN

Los Métodos en los que se basan los distintos procedimientos de ejecución de trabajos bajo tensión, deben lograr desde la fase de concepción y desarrollo técnico, la consecución de los objetivos básicos necesarios para garantizar la seguridad de los trabajadores esta es la razón por la que se habla de Seguridad Integrada, como es el evitar el accidente eléctrico en su doble faceta:

- Proteger a los trabajadores contra los accidentes por electrificaciones de paso de corriente.

- Proteger a los trabajadores contra los cortocircuitos producidos entre elementos a distinto potencial, bien sea estos causados entre dos conductores de fases diferentes o entre un conductor de fase y tierra.

El objetivo de evitar el accidente eléctrico nos lleva a la necesidad de definir y establecer nociones tales como “distancia mínima de seguridad” y “zona de trabajos en tensión”.

5.4. DISTANCIA MINIMA DE SEGURIDAD

Tomando como referencia la norma UNE EN 50110 “Explotación de instalaciones eléctricas”, basada en una Norma Europea, se define la **distancia mínima de trabajo** como “la mínima distancia en aire que debe ser mantenida entre cualquier parte del cuerpo del trabajador, o cualquier herramienta o elemento conductor que manipule o con el que se esté en contacto, y cualquier otro elemento a diferente potencial, sea en tensión o a tierra.

En el Capítulo IV se trató este tema con más detalle.

5.5. ZONA DE TRABAJO EN TENSION

La misma norma define la **zona de trabajos en tensión** como “el espacio alrededor de elementos en tensión en el cual el nivel de aislamiento para prevenir el riesgo eléctrico no está asegurado al invadir dicha zona sin medidas preventivas”.

El trabajador debe protegerse contra el paso de corriente y contra los cortocircuitos, utilizando herramientas y equipos de características aislantes adecuadas al nivel de tensión de la instalación o manteniendo unas distancias mínimas de aproximación a los elementos en tensión sobre los que se actúa así como respecto a otros puntos a potencial distinto al que se encuentra el trabajador.

La zona prohibida o zona de trabajo en tensión puede reducirse por medio de dispositivos aislantes, tales como protectores rígidos o flexibles, mantas, cubiertas, capuchones, vainas, etc., concebidos, fabricados, ensayados y colocados de tal forma que se evite todo posible contacto entre el trabajador y un conductor o elemento metálico a potencial diferente al suyo.

Según sea la situación del trabajador con respecto a la zona de los trabajos en tensión, correspondiente al elemento en tensión propio y al elemento en tensión sobre el que se va actuar, se originan tres métodos de trabajo conceptualmente diferentes.

5.6. MÉTODOS DE TRABAJOS EN TENSIÓN

Los Métodos o formas genéricas de realizar los trabajos en tensión, según los niveles de tensión y los principios técnicos utilizados para proteger a los trabajadores y evitar los cortocircuitos, son los siguientes:

- Método a “Potencial”, generalmente empleado en las muy altas tensiones de líneas e instalaciones de transmisión de energía, así como en subestaciones (132, 220, 380 kV).
- Método a “Distancia”, empleado en media tensión. Tensiones de distribución.
- Método en “Contacto con protección aislante de las manos”, empleado en baja tensión, y en tensiones de distribución.

Como referencia se menciona que cronológicamente aparecen en España primero los trabajos en tensión en líneas de media tensión y, por consiguiente, el Método a Distancia. Pocos años después se inicia el de baja tensión con el Método en Contacto y muy poco después, o casi en paralelo, los trabajos en las muy altas tensiones con el Método a Potencial. Con el desarrollo de la tecnología para la fabricación de las barquillas aislantes, se desarrollan el Método de Contacto en medias tensiones, de distribución.

Las principales características de los tres métodos mencionados, se exponen a continuación:

5.6.1. METODO A POTENCIAL

En este método el operario trabaja directamente en el conductor energizado, con las manos desnudas, para lo cual es preciso que se ponga al potencial de la línea (de ahí su nombre) y su aislamiento con relación a tierra debe estar asegurado por un dispositivo aislante apropiado al nivel de

tensión que se vaya a tocar y el mantenimiento de una distancia respecto a masas. Este es un método muy espectacular debido a las características de las líneas en que se aplica, tensiones de transporte, y al hecho de que el trabajador que se pone a potencial viste un traje metalizado conductor. El trabajador se encuentra en la misma situación que un ave posado sobre un conductor eléctrico.



5.6.2. MÉTODO A DISTANCIA

En este método en los inicios de los trabajos en tensión denominada “de pértigas aislantes”, el operario ejecuta el trabajo con herramientas instaladas en el extremo de pértigas aislantes. Generalmente el operario se encuentra al potencial de tierra, y es preciso que la pértiga aislante tenga el aislamiento correspondiente a la tensión que se vaya a tocar.

Son tres los elementos principales que van a permitir los trabajos en tensión por este método: Las pértigas aislantes, los accesorios metálicos y los accesorios aislantes.

Este método, es cansado para el trabajador, tanto por el hecho de que normalmente está sobre un apoyo en posiciones muchas veces forzadas y sujeto con un cinturón de seguridad, por tener que manejar las herramientas a distancia en el extremo de pértigas y con los brazos extendidos; a estos trabajadores se les exige una gran destreza, habilidad manual y fortaleza física.



5.6.3. MÉTODO EN CONTACTO

En este método, usado en baja tensión de forma exclusiva y cuya denominación completa es “en contacto con protección aislante de las manos”, el operario colocado sobre elementos aislantes realiza el trabajo con guantes aislantes.

La aplicación de este método en instalaciones de distribución en media tensión requiere de la utilización de elementos aislantes sobre los que posiciona el operario, tales como aparato elevador de brazo aislante, andamios o plataformas aislantes.

La aplicación de este método está limitada por la disponibilidad de guantes aislantes adecuados a la tensión de la instalación. En la actualidad no se trabaja en contacto en instalaciones de más de 36 kV de tensión nominal (tensión entre fases).



5.6.4. TÉCNICAS DE TRABAJOS EN TENSIÓN.

Los trabajos en tensión que se realizan en instalaciones de alta tensión se desarrollan siguiendo normalmente técnicas de uno de los métodos antes indicados, no es inusual el combinar dos métodos, especialmente contacto y distancia, en la realización de determinados trabajos.



5.7. NUEVA METODOLOGÍA DE TRABAJO PROPUESTO PARA EL CAMBIO DE FERRETERÍA.

Luego de explicarse los métodos de trabajo con tensión utilizados a nivel del mundo, se observa que utilizando el método y características técnicas más apropiadas es posible realizar trabajos con línea energizada con la seguridad del caso. En tal sentido la actividad de cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores en caliente plantea su

desarrollo en estructuras de suspensión mediante una nueva modalidad de trabajo el que hemos denominado "Método a Potencial Cero".

5.7.1. MÉTODO A POTENCIAL CERO

La nueva modalidad plantea que el operario trabaja ubicado en el extremo de la ménsula directamente sobre los accesorios de sujeción y el primer elemento de la cadena de aisladores lado estructura manteniendo la línea energizada.

Como los accesorios de sujeción se encuentran conectados a tierra mediante la ménsula de la estructura metálica, se determina que los mismos al igual que el operario se encuentran al mismo potencial cero de referencia a tierra. Del cual se deriva el nombre del método.



Para realizar la actividad, previamente el primer aislador sujetado a la ménsula se anula toda tensión eléctrica mediante la instalación de un cable

de tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador, el cual es conectado solidamente a tierra con una pértiga aislante maniobrada a distancia.

Durante el tiempo que demore la actividad, la cadena de aisladores de la línea de transmisión quedará reducida en una unidad, con el cual el aislamiento será afectado en forma mínima lo cual fue demostrado en el Capítulo III para aisladores contaminados al natural a sobre la capa de grasa silicona. En ambos casos se consideró un margen con un factor de seguridad de 2.4 para llegar a las condiciones máximas de reducción de aislamiento por contaminación medio ambiental.

Asimismo con los ejemplos de ensayo descritos en el ítem 3 del Capítulo III, se observa que para una cadena de 10 aisladores limpia de 291 mm de línea de fuga registra una tensión de contorno en condiciones desfavorables de lluvia de 360 kV (2.8 veces la tensión de operación por fase de una línea de 220 kV) y en seco de 475 kV (3.7 veces la tensión de operación por fase de una línea de 220 kV), de donde podemos determinar que una línea de transmisión puede operar aun reduciéndose por avería dos o más aisladores, quedando reducido el coeficiente de seguridad eléctrico.

A modo práctico en las labores de mantenimiento se comprueba que por efecto vandálico de rotura de aisladores las cadenas de aisladores son afectadas en cuatro o mas de sus elementos sin embargo la línea se mantiene normalmente operando, esto se debe a lo anteriormente expuesto.

En tal sentido para realizar la actividad también es importante tener en cuenta el grado de contaminación de los aisladores, las condiciones medio

ambientales de ausencia de lluvias o vientos fuertes y la humedad relativa circundante no mayor al 80%. Implica conocer el mantenimiento de aislamiento por lavado de la línea de transmisión el cual no debe tener una intervención mayor a 2.5 meses o 10 meses en el caso de estar siliconada, todo ello son aspectos importantes para evaluar las condiciones de intervención.

Para mayor detalle del reparto de tensión de una cadena de aisladores se utilizó el programa MATLAB y se graficó la “Ecuación de Repartición de Potencial de una Cadena de Aisladores” resultando la Fig. N° 17 , Fig. N° 18 y 19 donde se muestra la distribución de potencial para una cadena de 20 y 19 aisladores, con una resistencia de $R = 10 \text{ M}\Omega$ y $R = \alpha$.

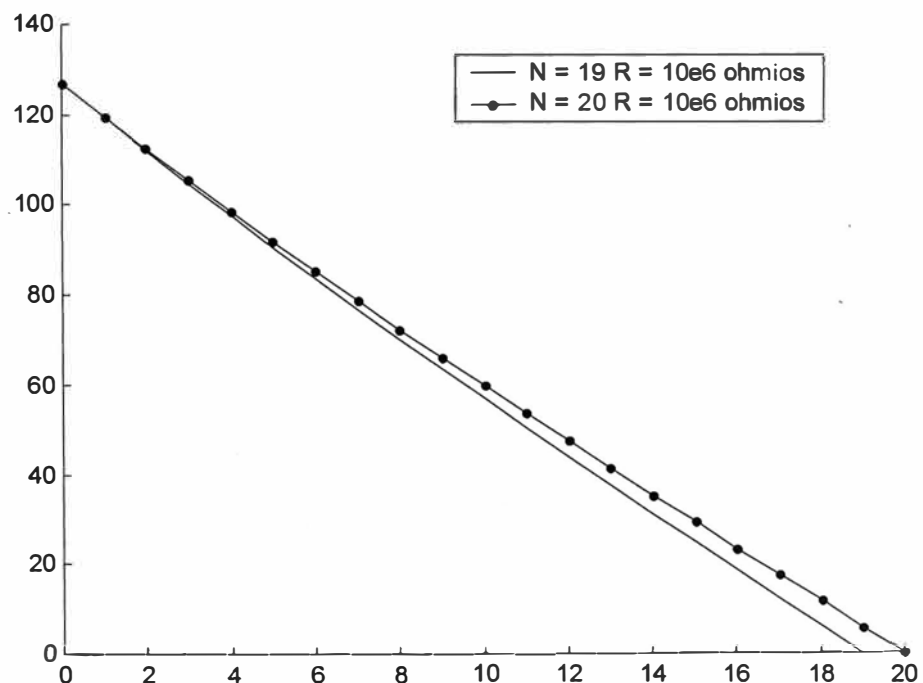


Fig. N° 17 - Distribución de tensión en una cadena de N=20 y N= 19 aisladores para una resistencia superficial $R = 10 \text{ M}\Omega$

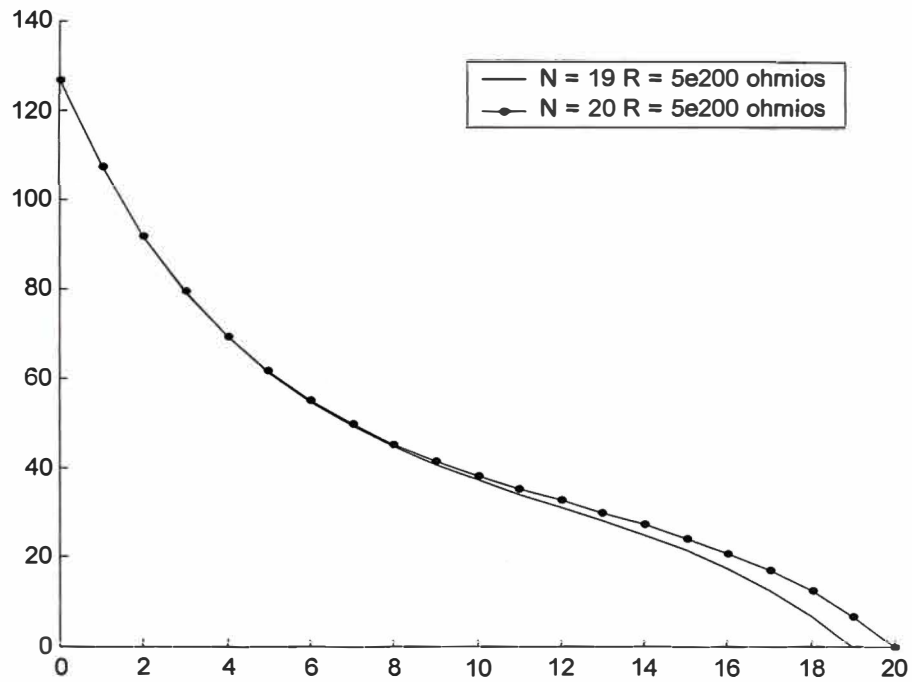


Fig. N° 18 - Distribución de tensión en una cadena de $N=20$ y $N= 19$ aisladores para una resistencia superficial $R = \alpha$

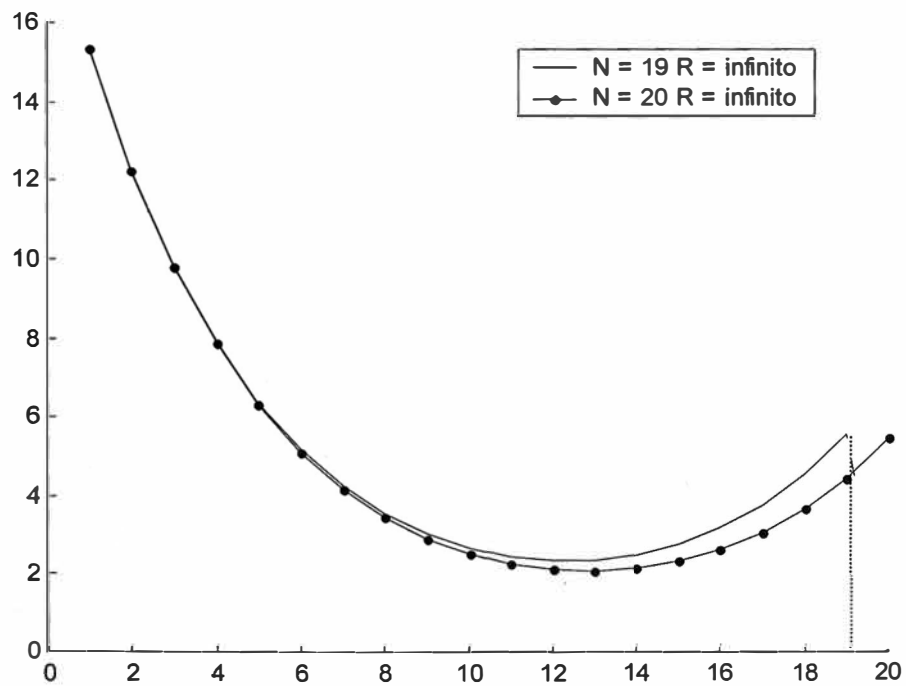


Fig. N° 19 - Variación porcentual de la distribución de tensión en una cadena de $N=20$ y $N= 19$ aisladores para $R = \alpha$

CAPITULO VI

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO Y SUS ACCESORIOS PARA EL CAMBIO DE FERRETERÍAS CON LINEA ENERGIZADA.

En las actividades de cambio de ferretería con línea desenergizada realizada en forma tradicional se utiliza como herramienta de maniobra el denominado Tecle de cadena de 1,500 Kg, ayudado de estrobos de acero, sogas driza, poleas y escalera con cuyos elementos el operario (técnico líniero) procede a aflojar la ferretería para su posterior cambio.

La labor permanente de tecnificar los procesos de maniobras plantea retos de diseñar herramientas que hagan posible la ejecución de la actividad en mejores condiciones de seguridad, asimismo reducir los esfuerzos de manipuleo y en consecuencia a menores costos. Esto será posible solamente mediante el diseño de nuevas herramientas como la que a continuación se describe.

El novedoso dispositivo y sus accesorios están consagrados al cambio de ferretería de cadenas de aisladores de porcelana de líneas costeras de 220 kV, cuyo aspecto relevante es su aplicación con línea energizada.

Otro aspecto importante es la versatilidad del dispositivo que hace posible el cambio de ferretería en frío, el cual evita utilizar el grupo de herramientas como el Tecle de cadena, estrobos, escalera y sogas; haciendo la actividad mas segura y eficiente, por que se reduce la cantidad

de maniobras, el operario no ingresa a la cadena de aisladores y en consecuencia reduce el tiempo de ejecución.

6.1. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO Y SUS ACCESORIOS.

La herramienta de maniobra denominado Tecele utilizado en actividades con línea desenergizada, es reemplazada por un nuevo dispositivo mediante el cual podremos desarrollar la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada, esta nueva herramienta la denominaremos "Intercambiador de Ferretería". (Ver Foto N° 10)

6.2. EL INTERCAMBIADOR DE FERRETERÍA

6.2.1. CRITERIOS MECÁNICOS

Los productos siderúrgicos comunes para fabricación de herramientas y accesorios metálicos, son aleaciones de Hierro – Carbono, en que el porcentaje de Carbono está comprendido entre 0 y 6.7 %.

Estos productos son obtenidos en estado de fusión y llamados Acero cuando contiene de 0 a 1.76 % de Carbono y Hierro fundido cuando este elemento está entre 1.76 a 6.7 %.

El Carbono puede existir en este material bajo dos formas diferentes: Carbono combinado y Carbono grafitico. Cuando se refiere al Carbono de un Hierro fundido, se debe entender como Carbono total, esto es al Carbono combinado y Carbono grafitico.

Las piezas del intercambiador de ferretería están sujetas a esfuerzos de tracción, por tal como criterio mecánico las partes están confeccionadas en Hierro fundido, moldeadas mediante un proceso de torneado, esmerilado, desvastado y pulido.

En los herrajes tiene particular importancia el coeficiente de seguridad mecánica, es decir, la relación existente entre la carga de rotura mecánica y el esfuerzo mecánico máximo a que estaría sometido el herraje.

De forma similar las partes del intercambiador de ferretería están dimensionadas de tal manera que el factor de seguridad es de 3 ó más, diseñado para transmitir la carga mecánica al eje de gravedad y desarrollar una resistencia mecánica uniforme, de modo que pueda soportar una carga vertical permisible de 3,000 Kg, por lo tanto:

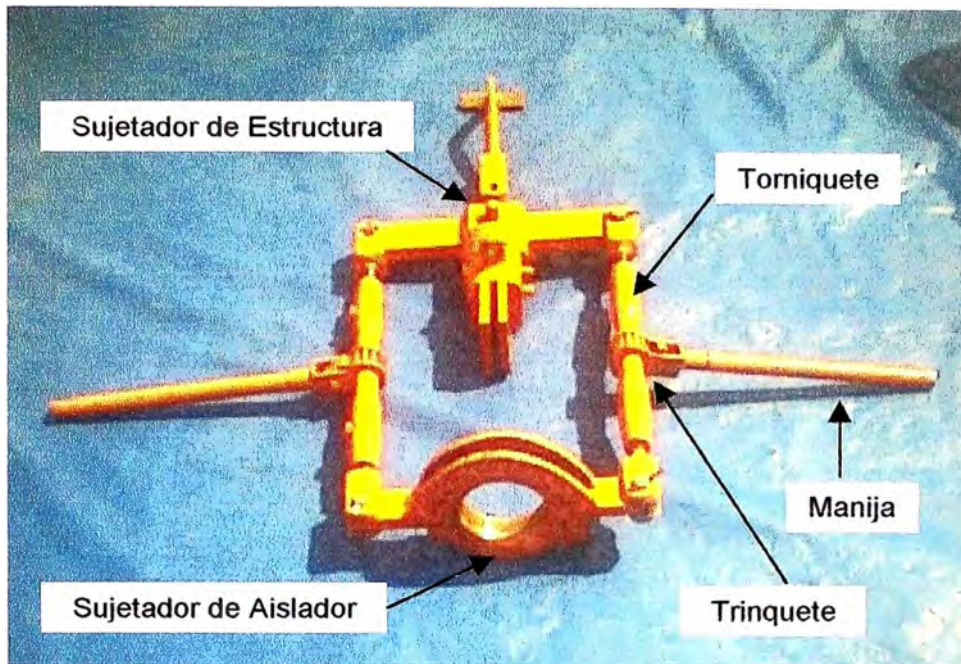
$$C.S. = (TR / T_{max}) \quad , \quad \text{donde:}$$

TR : Tiro de rotura mecánica

T_{max} : Tiro máximo de trabajo

$$TR = (C.S.)(T_{max}) = 3 \times 3,000 \text{ Kg}$$

$$TR = 9,000 \text{ Kg}$$



6.2.2. IDENTIFICACIÓN DE PARTE.

a. Sujetador de Aislador.

Cuerpo principal inferior que permite amarrar la cadena de aisladores mediante un elemento que se adapta a la caperuzza del primer aislador conformado con una tapa lateral el cual se junta con un perno de presión.

En cada lado del “Sujetador de Aislador” se une un torniquete por medio de un perno pin, que posibilita la distribución de fuerzas de tracción en forma simétrica y uniforme.

En el presente trabajo se considera un adaptador para un aislador de porcelana antineblina tipo NGK de 254 mm de diámetro y 432 mm de línea de fuga.

En el presente trabajo se considera un adaptador para un aislador de porcelana antineblina tipo NGK de 254 mm de diámetro y 432 mm de línea de fuga.

b. Sujetador de Estructura.

Cuerpo principal superior que permite amarrar la estructura mediante un elemento cuyo diseño se adapta al extremo de la ménsula.

Asimismo en cada lado del “Sujetador de Estructura” se une un torniquete por medio de un perno pin que posibilita la distribución de fuerzas en forma simétrica y uniforme.

c. Torniquete.

El intercambiador de ferretería está compuesto por dos torniquetes que enlaza el sujetador de aislador con el sujetador de estructura. Los dos torniquetes tienen una separación de eje a eje de 315 mm..

Cada torniquete tiene una funcionalidad equivalente a un tensor de anclaje, los cuales permitirán jalar la cadena de aisladores hasta que queden flojos los accesorios de sujeción, quedando libre la ferretería para proceder a su cambio respectivo.

Es preciso indicar que el diseño de cada torniquete soporta una carga vertical de 1,500 Kg. Tiene una extensión mínima de 431 mm y máxima de 557 mm.

d. Trinquete y Manija.

El trinquete para poder expandirse o contraerse requiere efectuar giros antihorarios y horarios respectivamente, esto es posible mediante un trinquete de dos posiciones de fácil manipulación que permite el cambio de giro según la necesidad de maniobra. Asimismo el sistema de trinquete se une mediante una rosca a la manija.

6.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ACCESORIOS**6.3.1. TIERRA TEMPORARIA**

La tierra temporaria a utilizar consta de tres partes la pinza, cable de conexión y grapa de conexión a estructura. (Ver Foto N° 11)

La pinza fabricada en material de Bronce – Aluminio debe tener una conexión que se adapte a la caperuza del aislador y pueda instalarse con una pértiga mediante terminal de acople.

El cable de conexión será de tipo extra flexible trenzado, con funda transparente o color amarillo o negro de 4 m de longitud.

La grapa de conexión a la estructura del mismo material de la pinza debe ajustarse a la estructura con una llave tipo mariposa.



6.3.2. PÉRTIGA

La pértiga fabricada en fibra de vidrio con propiedades dieléctricas que soporten un nivel de aislamiento superior a 220 kV, con diámetro máximo de 36 mm, longitud mínima de sección inferior / superior igual a 2 m, el guardamanos de caucho. El tipo de terminal para amarre de la pinza debe ser de tipo bayoneta o gancho para ojal. El peso total de la pértiga no superará los 4 Kg. y el ambiente de uso del mismo será considerado para uso hasta con 99 % de humedad relativa.



6.3.3. SISTEMAS DE SOPORTE DE PÉRTIGA

Considerando que la pértiga a utilizar para instalar la tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador, será manipulada en forma horizontal paralela a la ménsula por uno de los operarios, se considera reducir el esfuerzo del peso vertical de la pértiga mediante un sistema de dos apoyos, cada uno conformado por una argolla de fibra de vidrio el cual se amarre al perfil mediante una correa de cuero y amarres de conexión rápida.



6.3.4. EXTRACTOR DE CHAVETA

Herramienta de diseño propio, diseñada para permitir una extracción rápida de la chaveta (acero inoxidable), la cual evita el uso de martillos y destornilladores.





6.3.5. SISTEMA DE APOYO PARA OPERARIO

Para la actividad de cambio de accesorios de sujeción el operario efectuará las maniobras en posición sentado como máximo por el cual se considera un sistema de apoyo de madera o caucho de forma trapezoidal que se sujetan en la ménsula.



Es preciso resaltar que los tres últimos accesorios son de diseño propio, de forma similar la pinza de la tierra temporaria fue adecuada para cumplir con las funciones de la actividad de cambio de ferretería con línea energizada.

6.3.6. PROBADOR DE AISLADORES

El probador de aisladores energizados denominado también perfilador es un instrumento sensible, desarrollado para determinar la condición de cada aislador en una cadena.

Se basa su principio de funcionamiento en medir la distribución del potencial en cada aislador de una cadena, con la línea en servicio. Si el aislador está perforado, la caída de potencial en él será cero. El probador de aisladores en conjunto es montado sobre una pértiga aislante a la tensión de la red bajo prueba. El operador apoya los electrodos sobre la caperuza y el pin del aislador de la cadena y lee la caída de tensión.



CAPITULO VII

METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO

7.1. GENERALIDADES

Luego de haber tratado temas relacionados al deterioro de los herrajes de sujeción de cadena de aisladores, el comportamiento de aislamiento, distancias de seguridad, métodos de trabajos en tensión y descripción del dispositivo; se procederá a desarrollar la metodología de intervención de cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores con línea energizada en 220 kV utilizando el dispositivo Intercambiador de Ferretería.

Es conocido que el aspecto legal, en los inicios de las técnicas de trabajos en caliente tanto en el Perú como en los diversos países no estaba reconocida en los reglamentos de seguridad y se prohibía expresamente realizar cualquier tipo de trabajo sin el previo corte de suministro.

El Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector Electricidad de nuestro país expresa en el Artículo 51 con relación a los Trabajos en Caliente que está absolutamente prohibido trabajar en circuitos energizados, mientras no se disponga del procedimiento respectivo y autorización para su uso. Asimismo precisa que el trabajo deberá ser realizado por personal especializado, con el perfil mínimo en lo físico y psicológico, y que cuente con equipos y herramientas especialmente diseñados para esos fines.

Como es comprensible nuestro reglamento prohíbe trabajar en circuitos energizados si no se dispone de un procedimiento, herramientas y personal especializado. En tal sentido el presente capítulo desarrollará la metodología que permita realizar los trabajos con la técnica apropiada y seguridad del personal.

7.2. METODO DE REEMPLAZO DE LAS FERRETERIAS DE LAS CADENAS DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN CON LINEA ENERGIZADA 220 kV.

El presente acápite tiene como objetivo presentar la metodología de cambio de ferretería de sujeción deteriorados por corrosión en estructuras de suspensión manteniendo la línea energizada, con el fin de evitar el desprendimiento de la cadena de aisladores y garantizar el normal transporte de energía eléctrica, aplicable en líneas de transmisión 220 kV.

7.2.1. FRECUENCIA DE INTERVENCIÓN

De acuerdo a los resultados de las inspecciones minuciosas.

7.2.2. CONDICION REQUERIDA

Línea de Transmisión en servicio, con función de recierre deshabilitado en las protecciones de ambos extremos de cada subestación.

7.2.3. CONDICIONES DE AISLAMIENTO

Para desarrollar la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada, se debe considerar que la cadena de aisladores no debe tener una exposición a la contaminación mayor a de 2.5 meses después de realizado su mantenimiento de aislamiento por lavado en caliente.

En el caso de estar la cadena de aisladores siliconada la actividad de cambio de ferretería se realizaría con un tiempo no mayor a 10 meses de aplicada la silicona.

Adicionalmente con el equipo probador de aisladores debe verificarse la correcta operatividad de la cadena de aisladores, de encontrarse elementos perforados (con caída de potencial cero) la actividad no debe ejecutarse.

7.2.4. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

El personal que efectuó el cambio de accesorios de sujeción de cadena de suspensión debe mantenerse alejado a una distancia del conductor mayor del valor básico.

El movimiento del personal en el extremo de la ménsula durante las maniobras, será la posición inclinado apoyado en sus rodillas, sentado como máximo, sin elevar los brazos, por lo que se alcanzará la altura de 1.2 m. respecto a la horizontal.

Para la línea de 220 kV, cuya tensión más elevada U_m fase – tierra es 127 kV, la tensión nominal soportada a impulso atmosférico (BIL) correspondería a 650 kV.

De lo mencionado, el Valor Básico sería de 1.52 m en condiciones atmosféricas normales y 1.57 m en condiciones atmosféricas extremas, este último determina que el conductor debe estar alejado una Distancia de Seguridad mayor a 2.77 m de la mensula inferior (Ver gráfico del Anexo).

Considerar las Tablas N° 5 y N° 6 y la altura del movimiento del operario en la mensula para evaluar la distancia de seguridad de alejamiento del conductor energizado.

7.2.5. CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES

Vientos menores a 40 Km/h, humedad relativa menores al 80 % y ausencia de lluvias. Alturas menores a 2 500 msnm.

Determinar con el termohigómetro los valores de humedad relativa y temperatura para verificar que la humedad absoluta sea menor a 18 g/m³, utilizar la Fig. N° 14.

Considerar la Fig. N° 10

7.2.6. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

a. Equipos

01 Cable de tierra temporaria con pinza diseñado para la actividad.

01 Pértiga con su sistema de soporte.

01 Equipo probador de aisladores (Perfilador)

01 Intercambiador de Ferretería de 3, 000 Kg.

01 Sistema de apoyo para operario.

01 Termohigometro

b. Herramientas

01 Extractor de chaveta de aislador

01 Punzón.

01 Polea con gancho giratorio de 0.5 toneladas .

100 m. de soga nylón tipo driza de 5/8" de diámetro

01 Arco de sierra.

01 Alicate para electricista

01 Juego de llaves de boca / corona, cincel y martillo

01 Manta para poner la pértiga y herramientas.

7.2.7. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

Zapatos de seguridad.

Ropa de trabajo antífama.

Casco de seguridad con barbiquejo.

Arnés de seguridad con lazo de 6 m y gancho de seguridad en ambos extremos.

Guantes protectores de cuero.

Lentes protectores

a. Comunicaciones

01 radio portátil y radio móvil por brigada.

7.2.8. PERSONAL REQUERIDO

01 Supervisor encargado.

03 Técnicos Linieros especializados en la actividad

7.2.9. METODO DE TRABAJO

Todo personal debe estar con su ropa de trabajo, zapatos, casco, barbiquejo y lentes de seguridad para trasladarse con un vehículo a la zona de trabajo.

Llegado a la zona de trabajo se extiende una manta para preparar los equipos y herramientas a utilizar (Foto N° 30). Verificar la correcta operatividad de los equipos y herramientas, la capacidad dieléctrica de la pértiga.

- Tomar lecturas de temperatura y humedad relativa con el termohigómetro, para verificar las adecuadas condiciones medio ambientales.
- El personal técnico Liniero L1 se alistará con su arnés de seguridad y demás implementos de seguridad.
- El Supervisor encargado solicita permiso para trabajar.
- Uno de los Linieros 1 sube por la estructura llevando consigo la polea, y la soga de servicio de 100 metros.
- Se procede a sujetar la polea en el tejido interior de la estructura a la altura de la ménsula e instalar la soga del servicio por el cual se subirán los equipos, herramientas y materiales a utilizar.
- Es adecuado precisar que la soga de servicio debe ir por el interior de la estructura a fin de evitar todo tipo de acercamiento de la soga hacia el conductor al momento de subir los equipos, herramientas y materiales. (Ver Foto. N° 18).
- Con el equipo "perfilador de aisladores", el Liniero L1 y otro de apoyo, deben verificar la correcta operatividad de la cadena de aisladores energizada.
- Ubicado un Liniero L1 en la ménsula y otro en el extremo del mismo sujetado a la estructura, se procederá a instalar la tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador.

El Liniero ubicado en la ménsula instalará el "Sistema de Soporte de Pértiga" y un extremo de la tierra temporaria conectará a un perfil diagonal asegurándose que esté solidamente sujetado a la ménsula,

asimismo una vez ingresada la pértiga en la argolla de soporte, el otro Liniero, procederá a acoplar la pinza en la punta de la pértiga. (Ver Foto N° 19).

El Liniero ubicado en la estructura manipulará la pértiga para conectar el otro extremo de la tierra temporaria a la caperuza del segundo aislador solidamente conectado. La pértiga no se desacoplará de la pinza y se mantendrá hasta concluir con la actividad. (Ver Foto N° 20)

- Luego de confirmar la instalación de la tierra temporaria verificar con el “perfilador de aisladores” que la caída de potencial en el primer aislador es cero. Posteriormente se dará inicio a las labores de instalar los demás equipos. (Ver Foto N° 21).
- Colocar el “Sistema de Apoyo para el Operario”, posteriormente en posición inclinado apoyado en sus rodillas instalar el “Intercambiador de Ferretería”.

El Liniero para las maniobras deberá conectar al extremo de la ménsula su línea de vida con una longitud suficiente que le permita desplazarse hasta los accesorios de sujeción de la cadena de aisladores.

La posición ergonómica máxima en la camilla del “Sistema de apoyo para el Operario” es la condición sentado.

Con los dos “torniquetes” conectados al “Sujetador de Aislador” proceder a amarrar al primer aislador mas cercano, para ello abrir la tapa móvil y colocarlo junto a la caperuza, luego cerrar la tapa

juntándola con el perno de presión apretándolo con la mano protegido con guantes. (Ver Foto N° 22 y Foto N° 23).

Continuar con la instalación del “Sujetador de Estructura” fijarlo firmemente a la chapa del extremo de la ménsula, posteriormente unir los dos “torniquetes” que están con el “Sujetador de Aislador”, en esto es importante considerar que las carreras de los torniquetes, tienen que ajustarse para que sean adecuadas ambas al mismo tamaño. (Ver Foto N° 24)

- Una vez concluido la instalación del “Intercambiado de Ferretería” adecuar el trinquete y accionar las manijas para jalar la cadena hacia sí, en esta maniobra el lado izquierdo y derecho de los torniquetes tienen que tener la misma tirantez. (Ver Foto N° 25).

Accionar las manijas hasta que los accesorios de sujeción de la cadena de aisladores queden flojos.

- Para sacar la chaveta del aislador jalar el ojal del mismo con un punzón, lo suficiente que permita enganchar el “Extractor de Chaveta”, con el cual extraer mencionado elemento. (Ver Foto N° 26).
Extraído la chaveta, queda libre la ferretería a cambiar (ojal bola, perno pasante en “U”). (Ver Foto N° 27).
- Debido a que por lo general las tuercas están corroídas, el Liniero intentará retirarlas con la llave corona, de no ser posible cortará las mismas con arco de sierra, cincel y martillo.
- Una vez retiradas las tuercas, sacar la ferretería defectuosa y colocar la nueva, debiendo luego engancharlo con la cadena de aisladores.

- Luego de reemplazo de los accesorios de sujeción, aflojar con las manijas el “Intercambiador de Ferretería” hasta que la cadena quede nuevamente tensado por el peso del conductor. Tener en cuenta que la ferretería y todos los seguros estén debidamente colocados.
- Se procede a retirar el “Intercambiador de Ferretería”, “Sistema de Apoyo para el Operario” y herramientas utilizadas.
- Con la pértiga desconectar la tierra temporaria de la caperuza del segundo aislador. Retirar dicho cable, la pértiga y su sistema de soporte.
- Bajar la polea y la soga del servicio por el cual se bajaron previamente todos los equipos, herramientas y materiales a utilizados.
- Ordenar los equipos, herramientas y manta utilizados y cargarlos al vehículo para retirarse del lugar de trabajo dejando la zona en orden y limpieza.
- El Supervisor encargado cancela su permiso para trabajar.

7.3. CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA CAPACITACION.

Para realizar la práctica de la metodología de intervención se monto una estructura como modelo de entrenamiento, con el cuerpo superior de una torre reticulada de suspensión, en la cual se colocaron las ménsulas de la fase inferior y media con sus respectivas cadenas y conductor, con la finalidad de capacitar al personal en dicha actividad. Ello permite evaluar las condiciones ergonómicas del trabajo y prever las necesidades y restricciones de distancia de seguridad, asimismo dar pautas y recomendaciones.

La estructura fue instalada en la parte exterior de la Subestación Chimbote I, como se observa en la Foto N° 28.

7.4. OTRAS VENTAJAS DE UTILIZACIÓN DEL NUEVO DISPOSITIVO.

Es importante señalar que el dispositivo puede ser usado en la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea desenergizada. Esto evitaría utilizar equipos como el Tilfor de 1,500 Kg, escalera, sogas y estrobos de acero.

Al disminuir el número de herramientas, reduciría la cantidad de maniobrar consecuentemente daría mayor seguridad al personal Liniero, quien se mantendría sujetado a la ménsula.

Esto demuestra la facilidad de uso, versatilidad y potencialidad del dispositivo.

Concluido el diseño del Intercambiador de Ferretería, a modo de demostrar su versatilidad, personal de ETECEN – U.T. Norte Medio utilizó el dispositivo en la actividad de cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores de suspensión con instalaciones desenergizadas, realizado en la línea L – 215 (Chimbote – Paramonga) el año 2002. (Ver Foto N° 31)

7.5. VENTAJAS DE NUEVA METODOLOGÍA Y UTILIZACIÓN DEL DISPOSITIVO EN COMPARACIÓN CON LA METODOLOGIA TRADICIONAL.

Finalmente cerrando los Capítulos del presente informe se presenta un cuadro donde permita observar las ventajas de utilización del novedoso dispositivo en comparación con lo tradicional.

METODO TRADICIONAL	NUEVA METODOLOGÍA
<p>Requiere la línea desenergizada para ejecución de trabajos, genera restricción de carga, reduce la confiabilidad del sistema eléctrico y eleva los costos de energía eléctrica.</p> <p>Las herramientas utilizadas en el método tradicional solo pueden ser utilizadas con línea desenergizada.</p> <p>El operario ingresa a la cadena de aisladores para efectuar el amarre.</p> <p>Utiliza mayor cantidad de herramientas y por tal mayor cantidad de maniobras, elevando el riesgo de accidente.</p>	<p>El método es un aporte a los trabajos con tensión, no genera la restricción de cargas, mantiene la confiabilidad del sistema eléctrico, no incrementa los costos de energía eléctrica y mejora la calidad del suministro eléctrico.</p> <p>El dispositivo Intercambiador de Ferretería puede ser utilizado en el cambio de accesorios de sujeción con línea energizada o desenergizada.</p> <p>El operario durante las maniobras se mantiene en la ménsula, reduciendo significativamente el riesgo de accidente.</p> <p>Para trabajos en frío se reduce la cantidad de herramientas (Tilfor, escalera, estrobos, soga), reduciendo el número de maniobras y en consecuencia aminora la incidencia de accidente.</p>

METODOLOGÍA CAMBIO DE ACCESORIOS DE SUJECCIÓN CON LÍNEA ENERGIZADA.



Foto (7.1) – Instalación de polea y soga de servicio por el interior de la estructura para evitar acercamiento hacia el conductor.



Foto (7.2) – Instalación tierra temporaria, apoyo para acoplar la pinza en punta de la pértiga.



Foto (7.3) – Conexión de la tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador.



Foto (7.4) – Concluido la instalación de la tierra temporaria, se da inicio a las labores de instalar los demás equipos.



Foto (7.5) – Colocación del “Sujetador De Estructura” con los dos
“Torniquetes” al primer aislador



Foto (7.6) - Cierre de tapa giratoria juntándolo con el perno de presión



Foto (7.7) – Acople del “Sujetador de Estructura” a la chapa del extremo de la ménsula



Foto (7.8) – Accionamiento de las manijas para jalar la cadena hacia sí, se verifica que ambos torniquetes tienen la misma tirantez



Foto (7.9) – Extracción de chaveta del aislador mediante el “Extractor de Chaveta”.



Foto (7.10) - Extraído la chaveta, queda libre la ferretería a cambiar (Ojal Bola, Perno Pasante en “U”, etc.)

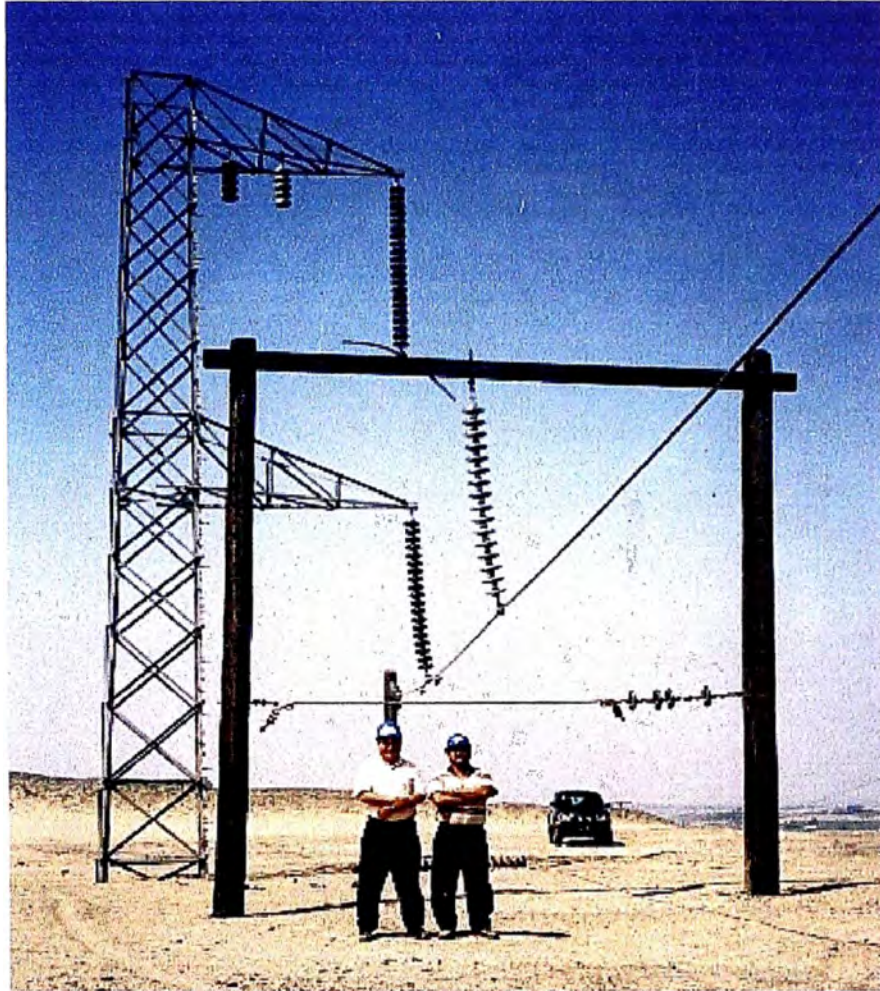


Foto (7.11) – Montaje de Estructura como modelo de entrenamiento instalada en exterior de Subestación Chimbote (Apoyo de Téc. J. Moreno)



Foto (7.12) – Grupo de Entrenamiento



Foto (7.13) – Equipos y Herramientas



Foto (7.14) – Grupo de trabajo de ETECEN que demostró la versatilidad del dispositivo para la actividad de Cambio Ferretería con línea desenergizada.

Realizado en la L-215 – 220 kV (Chimbote – Paramonga) el año 2002

Participantes: Ing. F. Coronado, Ing. E. Cueto, Téc. Humberto Ayala y

personal Técns. Lineros Especialistas

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

1. El dispositivo “Intercambiador de Ferretería” puede ser usado en la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea desenergizada. Esto evitaría utilizar equipos como el Tilfor de 1,500 Kg, escalera, sogas y estrobos de acero.

Al disminuir el número de herramientas, reduciría la cantidad de maniobrar consecuentemente daría mayor seguridad al personal Liniero, quien se mantendría sujetado a la ménsula; ello demuestra la facilidad de uso, versatilidad y potencialidad del dispositivo.

2. Para diseñar y realizar la práctica de la metodología de intervención se realizó como instalación de entrenamiento el montaje del cuerpo superior de una estructura metálica de suspensión, en el cual se consideraron las ménsulas de la fase inferior y media con sus cadenas y conductor para capacitar al personal en la actividad. Ello permite evaluar las condiciones ergonómicas para prever las condiciones de distancia de seguridad, asimismo dar pautas y recomendaciones.

3. El personal que efectuó el cambio de accesorios de sujeción de cadena de suspensión debe mantenerse alejado a una distancia del conductor mayor del valor básico. Para una línea de 220 kV, se estableció una distancia de 1.52 m del conductor.

El movimiento del personal en la ménsula de la estructura durante las maniobras bajo las conexiones será la posición de sentado sin elevar los brazos, por lo que se alcanzará la altura de 1.2 m respecto a la horizontal. Esta posición lo mantendrá alejado del valor básico de 1.52 m del conductor.

4. Como es comprensible nuestro reglamento prohíbe trabajar en circuitos energizados si no se dispone de un procedimiento, herramientas y personal especializado. En tal sentido el presente informe posibilita cumplir los mencionados requisitos que permita realizar los trabajos con la técnica apropiada y seguridad del personal.
5. La actividad de cambio de accesorios de sujeción de cadena de aisladores con línea energizada plantea una nueva modalidad de trabajo el que hemos denominado "Método a Potencial Cero", en este método el operario trabaja ubicado en el extremo de la ménsula directamente sobre los accesorios de sujeción del primer elemento de la cadena de aisladores, se determina que los mismos al igual que el operario ubicado en la estructura se encontrarían al mismo potencial de referencia igual a cero. Esto se garantiza adicionalmente al ubicar una tierra temporaria en la caperuza del segundo aislador.

Es preciso indicar que en el Método a Distancia el operario también se ubica a potencial tierra, con la diferencia que se dispone de pértigas aislantes para manipular elementos con tensiones distintas de cero.

6. La zona prohibida o zona de trabajo en tensión puede reducirse por medio de dispositivos aislantes, tales como protectores rígidos o flexibles, mantas, cubiertas, capuchones, vainas, etc., concebidos, fabricados, ensayados y colocados de tal forma que se evite todo posible contacto entre el trabajador y un conductor o elemento metálico a potencial diferente al suyo. La diferencia de potencial en el primer aislador se evita conectando a tierra la caperuza del segundo aislador mas cercano a la ménsula.
7. Para la actividad de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada, se consideró un margen de seguridad en el comportamiento del aislamiento estableciendo que para efectuar el trabajo la cadena de aisladores no debe tener una exposición a la contaminación mayor a de 2.5 meses después de realizado su mantenimiento de aislamiento por lavado en caliente o limpieza. En el caso de estar la cadena de aisladores siliconada la actividad de cambio de ferretería se realizaría con un tiempo no mayor a 10 meses de aplicada la silicona.
8. En cadenas de aisladores contaminados se observa que para una humedad relativa por debajo del 85%, la conductividad de la capa contaminada es prácticamente despreciable, para una humedad del 90%, la conductividad de la capa empieza a incrementarse, pero aun

mas en forma considerable la fracción del valor de saturación de la capa contaminante es alcanzada con una humedad relativa superior al 95%.

En tal sentido se establece un margen de seguridad que para desarrollar la actividad de cambio de ferretería con línea energizada, la humedad relativa del medio ambiente debe ser menor a 80%.

9. La evaluación del deterioro de los accesorios de sujeción de cadena de aisladores se determina con relación a cinco grados de corrosión con el cual se establece el mantenimiento o cambio de los elementos metálicos.

En la inspección minuciosa de la línea de transmisión, de encontrarse grados de corrosión 4 o 5, se programa el cambio de ferretería deteriorada, a fin de evitar posibles fallas por desprendimiento de cadena de aisladores.

10. El trabajo de cambio de accesorios de sujeción con línea energizada nace como una actividad directamente relacionada con la mejora de la calidad del suministro eléctrico, al permitir realizar los trabajos de mantenimiento sin necesidad de interrumpir el servicio de la línea de transmisión y evitar afectar a los clientes.

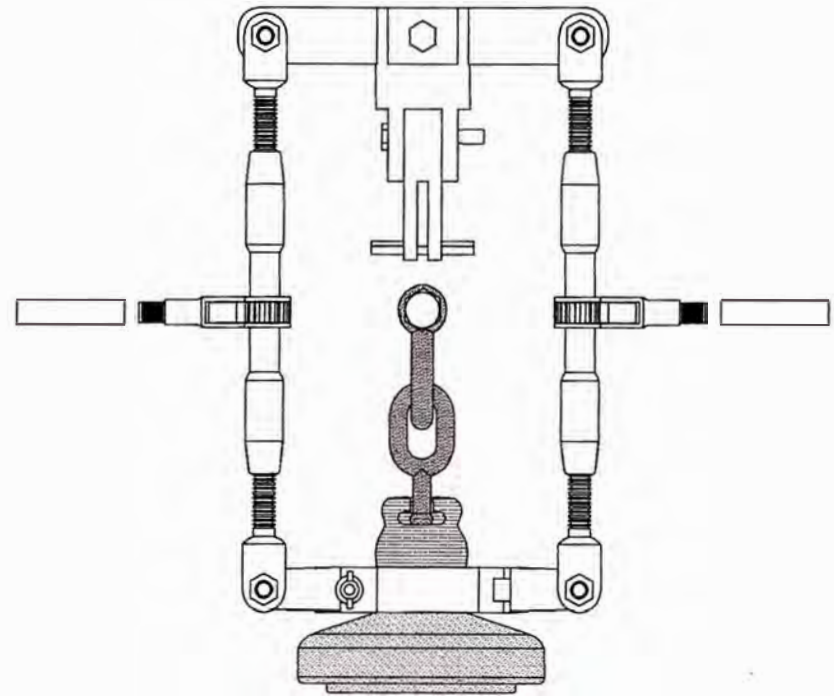
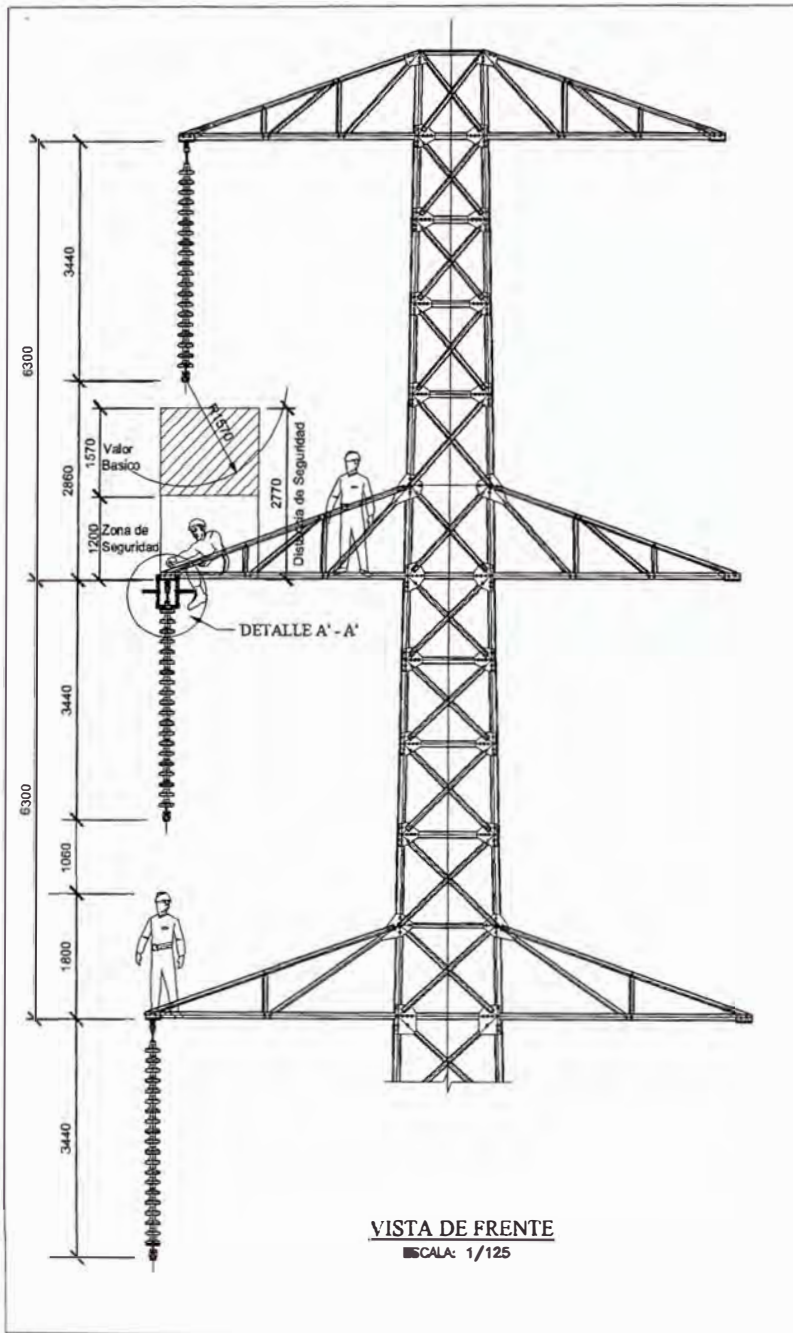
Ahora bien, el trabajar en un medio tan peligroso como es una instalación eléctrica en tensión, requirió desarrollar herramientas específicas, elementos de protección y metodología; asimismo implica adiestrar al personal, analizar y ensayar previamente el trabajo a realizar; para ello también se requirió la instalación de una estructura

metálica montada como instalación de entrenamiento en el exterior de la Subestación Chimbote I.

Todo lo cual significa un muy importante valor añadido a los trabajos en tensión, como es la mejora de las condiciones de seguridad en que se realizarán estos trabajos. Calidad y seguridad son un binomio que consideramos indisoluble para los trabajos con línea energizada.

11. El dispositivo y herramientas utilizadas en la actividad deben tener un mantenimiento periódico. Asimismo previamente a toda labor de cambio de ferretería debe verificarse el buen estado de funcionalidad de los mismos.

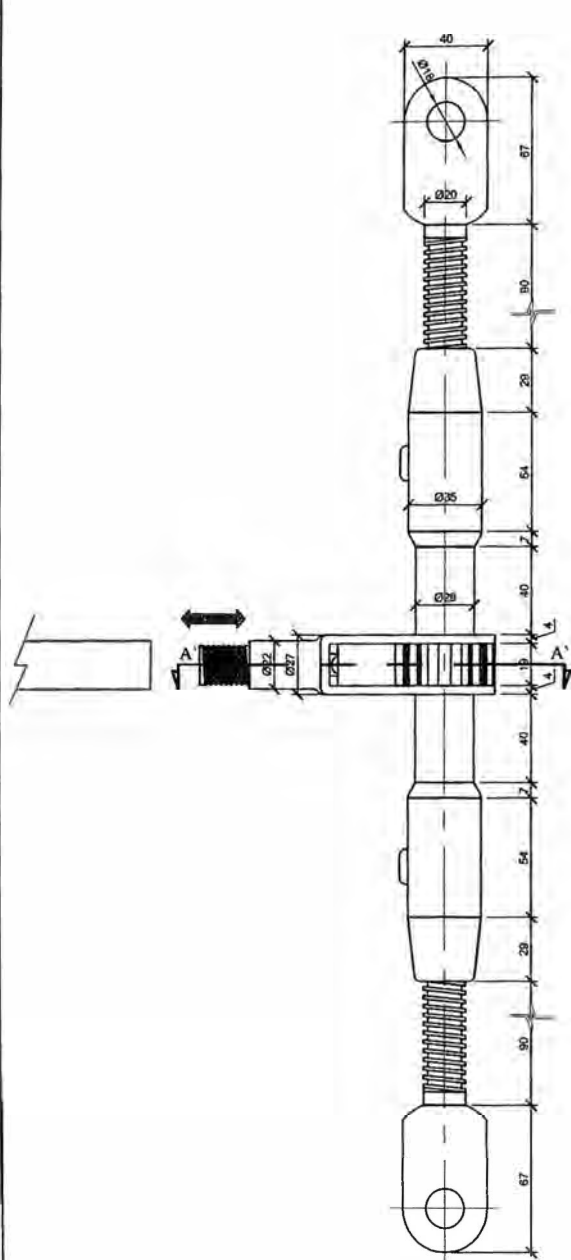
ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

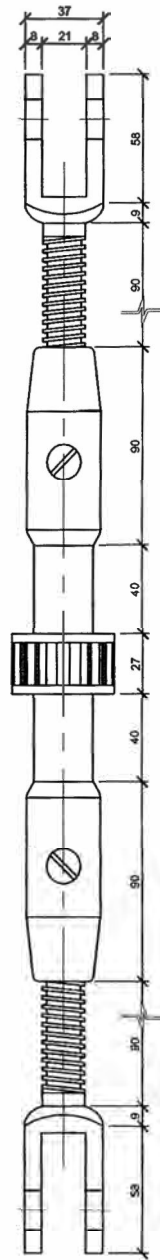
DISTANCIAS DE SEGURIDAD
FASE A TIERRA

ELABORADO:	DPTO. : ANCASH	PLANO N°: CFC-01
ING. RESPONSABLE: HUBER BERRIO FLORES	PROV. : SANTA	
DIBUJO: S.M.A.V. ESCALA: INDICADA UNIDAD:mm	DIST. : CHIMBOTE	
	FECHA : MAY-02	



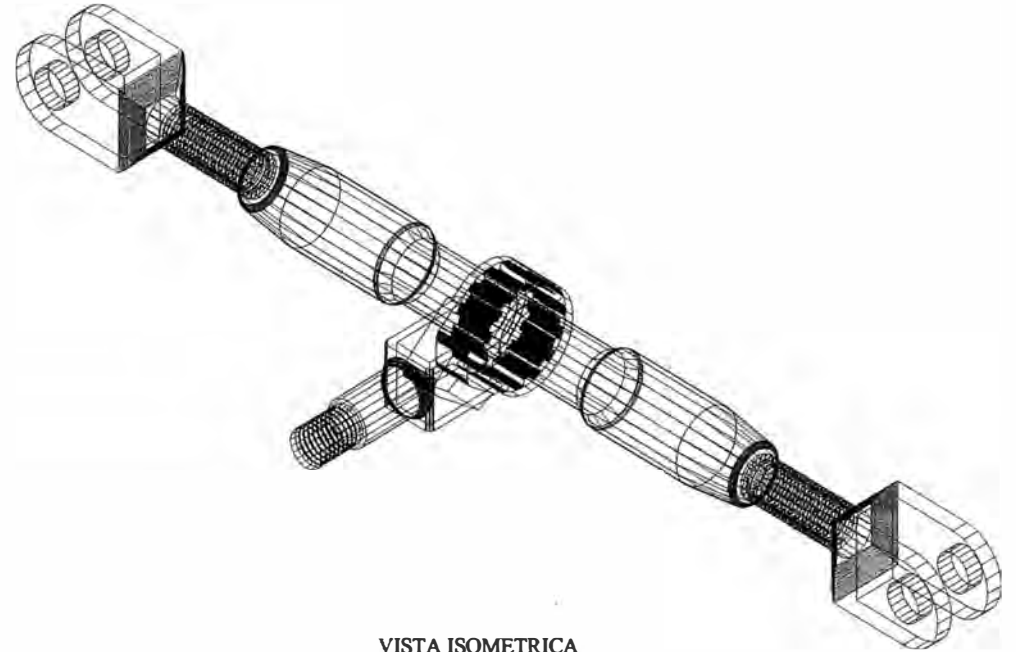
FRENTE

ESCAL: 1/25

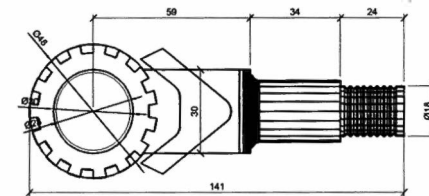


LATERAL

ESCAL: 1/25



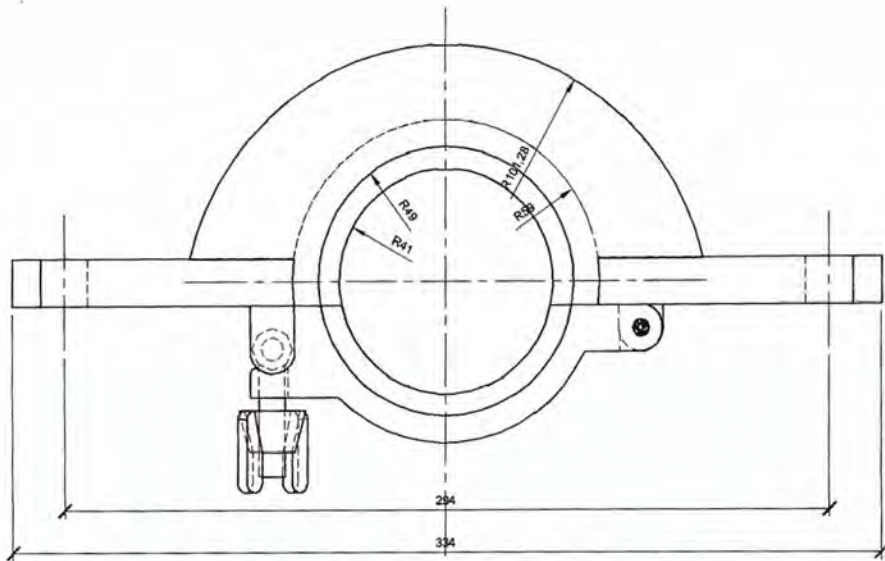
VISTA ISOMETRICA



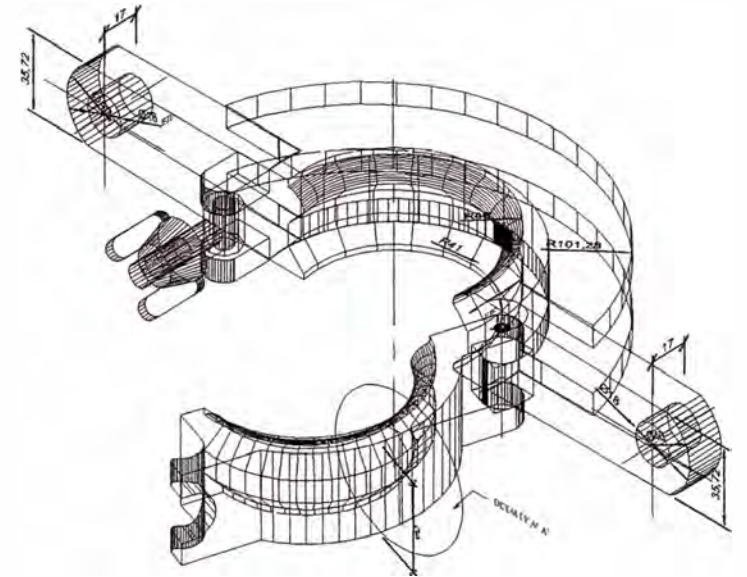
CORTE A' - A'

ESCAL: 1/20

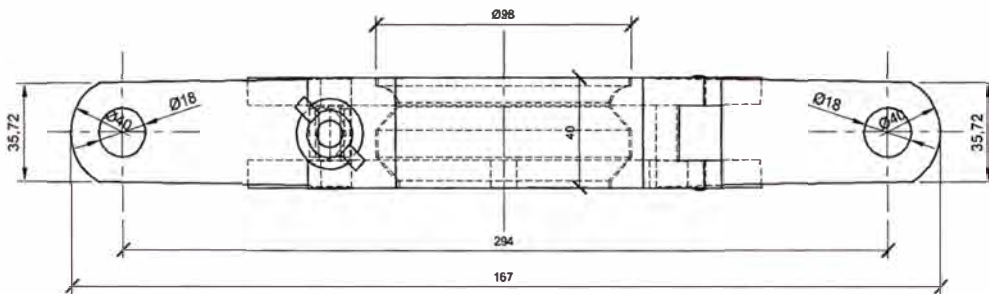
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
BRAZO TIPO RASH DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR DE FERRETERIA EN CALIENTE			
ELABORADO:	DPTO. : ANCASH	PLANO N°:	
INGENIERO RESPONSABLE:	PROV. : SANTA	CFC-02	
HUBER BERRIO FLORES	DIST. : CHIMBOTE		
DIBUJO: S.M.A.V.	ESCALA: INDICADA	UNIDAD: mm	FECHA : MAY-02



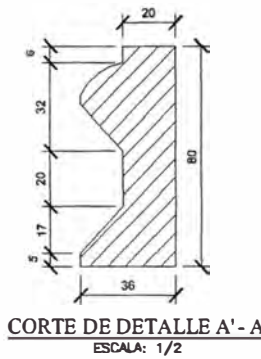
PLANTA
ESCALA: 1/2



VISTA ISOMETRICA
ESCALA: 1/2



FRENTE
ESCALA: 1/2

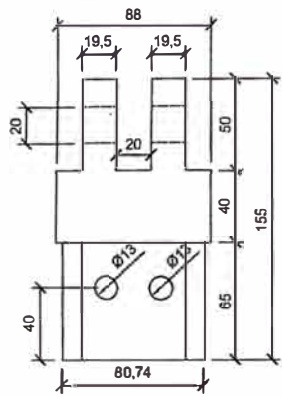


CORTE DE DETALLE A' - A'
ESCALA: 1/2

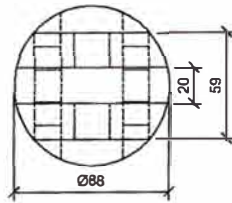
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

SUJETADOR INFERIOR DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR
DE FERRETERIA EN CALIENTE

ELABORADO:			DFTO. : ANCASH	PLANO N°: CFC-03
ING. RESPONSABLE: HUBER BERRIO FLORES			PROV. : SANTA	
DIBUJO: S.M.A.V.			DIST. : CHIMBOTE	
ESCALA: 1/2	UNIDAD: mm	FECHA : MAY-02		



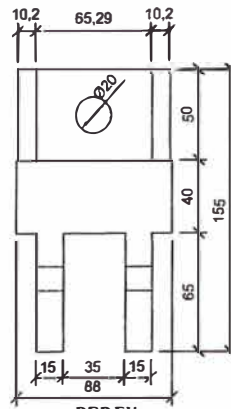
FRENTE



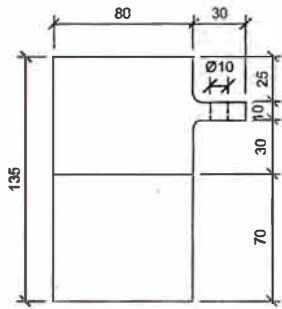
PLANTA

PARTE N° 01

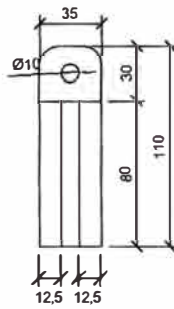
ESCALA: 1/75



PERFIL



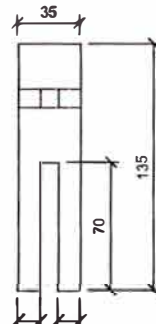
FRENTE



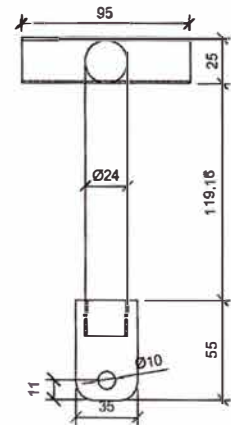
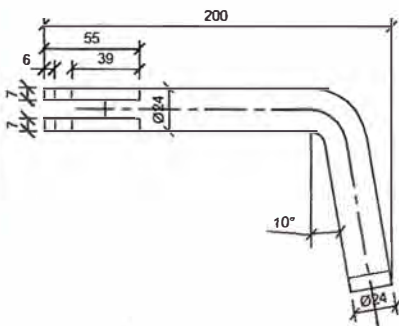
PLANTA

PARTE N° 02

ESCALA: 1/75

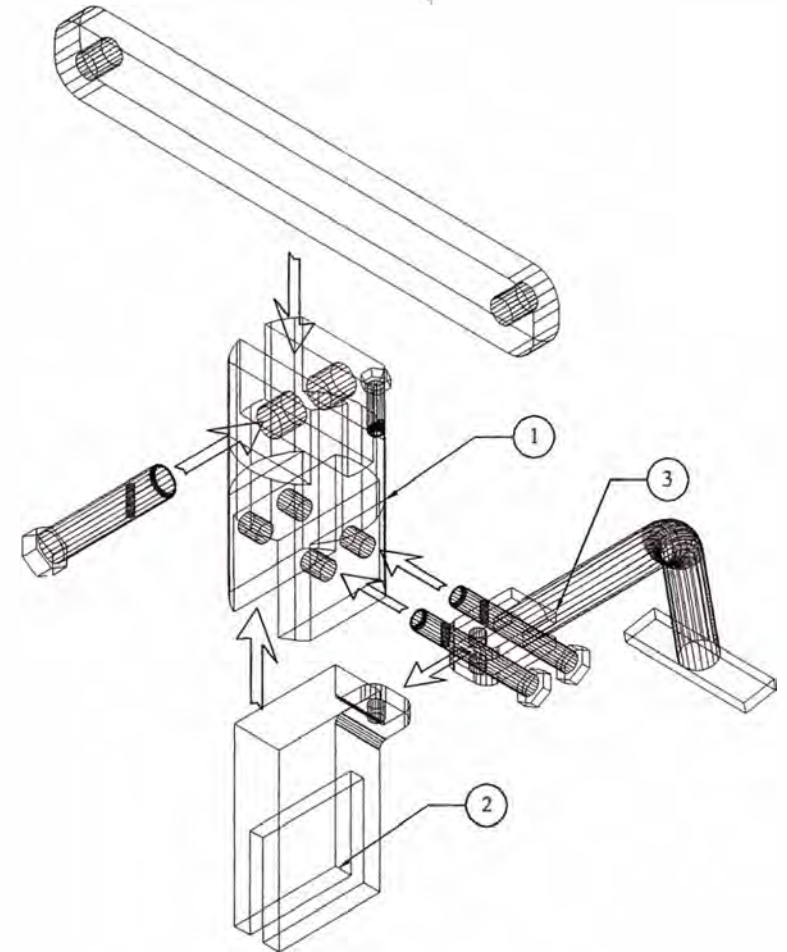
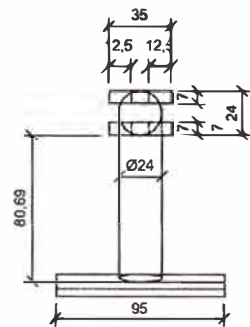


PERFIL



PARTE N° 03

ESCALA: 1/75



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

SOPORTE SUPERIOR DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR
DE FERRETERIA EN CALIENTE

ELABORADO:	DPTO. : ANCASH	PLANO N°: CFC-04
ING. RESPONSABLE: HUBER BERRIO FLORES	PROV. : SANTA	
DIBUJO: S.M.A.V.	DIST. : CHIMBOTE	FECHA : JUN-02
ESCALA: 1/75		

BIBLIOGRAFÍA

1. Gómez Villón, Rodolfo Alfredo “Estudio de Contaminación Aplicado a los Aislamientos Externos” Tesis de Titulación en Ingeniero Técnico Electricista – Escuela Nacional de Ingeniería Técnica – 1978.
2. Yanque Montufar, J. “La Repartition du Potentiel et le Courant a la Terre Dans Les Chaines D’Isolaterours en Service” – 1972.
3. NGK Insulators, Ltd. “Suspensión Insulators” . Cat. N° 14.
3. Technical Guide, Cat. N° 91 – NGK - Insulators, Ltd.
4. Amauri dos Santos “Corrosao em Ferragens Electromecanicas Resultante de Falhas de Fundicao” Centrais Electricas do Brasil S.A. ELETROSUL – Subcomité Industrial Comité Nacional Brasileiro – 1980.
5. León Ojeda Jaime “Aislamiento en Líneas de Transmisión” – Publicación 2001.
6. Bautista Rios, Juan “ Líneas de Transmisión y Subestaciones en Media y Alta Tensión” Universidad Nacional de Ingeniería – 2001.

7. Yanque Montufar, J. "Capacitancia y Condensadores, Coordinación de Aislamiento" Universidad Nacional de Ingeniería – 2001.
8. Ramírez G. Carlos Felipe "Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión" Editorial Cadena S.A. – Setiembre 1991.
9. Yanque Montufar, J. "¿Cómo Ocorre la Corrosión en el Suelo?" Electroredes – PROCOBRE PERU – 2000.
10. Yanque Montufar, J. "Guia Para la Reconstrucción por Corrosión L-215 Paramonga - Chimbote" ETECEN – Enero 2001.
11. "Fundamentos de Instalaciones de Alta Tensión" TECSUP – 2002.
12. "Corrosión del Acero" Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – Córdoba Argentina – 2002.
13. Ary D'Ajuz, C. Dos Santos Fonseca y otros "Transitorios eléctricos e Coordenacao de Isolamento Aplicacao em Sistemas de Potencia de Ata Tansao" Furnas – Universidad Federal Fulmínense.
14. Ramírez Vázquez, José / Suquet Cantons, Roberto "Instalaciones eléctricas Generales" Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona España – Marzo 1986.
15. Aguet, Michel / Morf, Jean – Jacques "Energía Eléctrica" Editions Georgi – Francia – Noviembre 1988.
16. H. Avner, Sydney "Introducción a la Metalúrgica Física".
17. "Manual de Muestreo de la Contaminación sobre Aisladores de Lineas y Estaciones de Transformación a Alta Tensión" Institución de Investigaciones Energéticas y servicios de Ingeniería Eléctrica ELECTROPERU INIE – Setiembre 1979.

18. Vega R., Layana G. Y Olguín A. "Corrosión Atmosférica del Cobre en Ambiente Marino" Universidad Católica de Valparaíso, Chile – 1999.
19. Foro Nacional "Alcances e Implicancias del Nuevo Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional en el Sub Sector Eléctrico (RSHOSSE)" Sociedad Ingeniería y Desarrollo – Agosto 2001.
20. Ángel Pérez Herranz "Los Trabajos en Tensión en España" Simposio Iberoamericano Sobre Seguridad Eléctrica de Uruguay, Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA) Madrid – España – Marzo 2001.