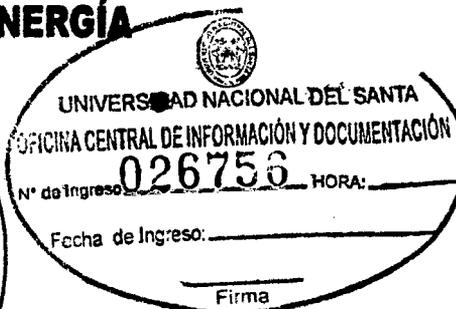




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE AISLADORES EN LINEAS
AÉREAS DEL ALTA TENSIÓN”.**

AUTORES :

BACH: ELIZABETH MARLENY CAMPOS COBIÁN

BACH: JOHN ANDERSON OBREGÓN FLORES

ASESOR:

M.SC. HUGO CALDERÓN TORRES

NUEVO CHIMBOTE - PERU
ENERO 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación, conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

“ANÁLISIS Y DISEÑO DE AISLADORES EN LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

Presentado por: **Bach. Elizabeth Marleny Campos Cobián**

Bach. John Anderson Obregón Flores

Revisado y Aprobado por:

M.SC. HUGO CALDERÓN TORRES
ASESOR

NUEVO CHIMBOTE, ENERO DE 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

Damos la conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.N° 471-2002-CU-R-UNS); intitulado:

“ANÁLISIS Y DISEÑO DE AISLADORES EN LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

Presentado por: **Bach. Elizabeth Marleny Campos Cobián**

Bach. John Anderson Obregón Flores

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

Mg. José Castillo Ventura
Presidente

M.Sc. Hugo Calderón Torres
Secretario

Ing. Julio Escate Ravello
Integrante

NUEVO CHIMBOTE, ENERO DE 2014

ÍNDICE

	Pag.
Carta de Conformidad de Asesor	i
Carta de Conformidad de Jurado Evaluador	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. Introducción	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e importancia	2
1.3 Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto	2
1.4 Formulación del Problema	3
1.5 Formulación de la Hipótesis	3
1.6 Objetivos	3
1.6.1 General	3
1.6.2 Específicos	4
II. Marco Teórico	
2.1 El Nivel de Aislamiento y Protección en Líneas Aéreas	4
2.1.1 Consideraciones Básicas	4
2.1.2 Requerimientos Básicos	5
2.1.3 Sobretensiones en líneas	13
• Sobretensiones de Origen Externo	
• Sobretensiones de Origen Interno	
2.2 La Polución y su Incidencia en el Costo de Líneas Aéreas	19
2.2.1 Consideraciones Básicas	19
2.2.2 Análisis de la polución y costos para diferentes tipos de aisladores	21
2.3 El Depósito Equivalente de Sal y su Efecto en el Costo de Líneas Aéreas	23
2.3.1 Consideraciones Básicas	23
2.3.2 Análisis de los costos cuando varía el depósito equivalente de sal	26
• Aisladores Normales	
• Aisladores Anti fog	

• Otro tipo de aisladores	
2.4 La Tensión de Sostenimiento y su Efecto en el Costo de Líneas Aéreas	27
2.4.1 Análisis Teórico	27
2.4.2 Costo por variable de la tensión de sostenimiento	31
• Aisladores Normales	
• Aisladores Anti fog	
• Otro tipo de aisladores	
2.5 La Tensión de Impulso y su Efecto en el Costo de Líneas Aéreas	33
2.5.1 Análisis Teórico	33
2.5.2 Costo cuando varía el impulso crítico	35
• Aisladores Normales	
• Aisladores Anti fog	
• Otro tipo de aisladores	
2.6 Cálculo de Aisladores en Líneas Aéreas de Alta Tensión	38
2.6.1 Consideraciones de Diseño	38
2.6.2 Cálculos Eléctricos	38
2.6.3 Cálculos Mecánicos	39
III. Materiales y Métodos	44
3.1 Materiales	44
3.2 Métodos	44
IV. Cálculos y Resultados	45
4.1 Cálculo de Aisladores y Costo de Líneas de Transmisión	45
• Incidencia de la Polución	45
• Efecto del Depósito Equivalente de sal	58
• Efecto de la Tensión de Sostenimiento	74
• Efecto de la Tensión de Impulso	80
• Cálculos eléctricos y mecánicos	85
4.2 Discusión	87

V. Conclusiones y Recomendaciones	88
5.1 Conclusiones	88
5.2 Recomendaciones	89
VI. Bibliografía	90
Anexos	
Anexo 1: L3 500 Kv OCOÑA – MONTALVO.	
Anexo 2: Planos cadena de aisladores	

RESUMEN

Esta tesis pretende dar a conocer los Métodos de cálculo utilizados en el Diseño del Aislamiento de sistemas eléctricos de transmisión, para establecer los requerimientos mínimos de aislamiento en líneas aéreas de alta tensión, dentro de los límites técnicos y económicamente permisibles.

En el proceso de transmisión de la energía eléctrica los aisladores juegan un papel muy importante por su capacidad de crear artificialmente líneas de fuga que se contraponen a los esfuerzos eléctricos; sin embargo, existen una serie de factores que pueden alterar sus condiciones de trabajo; así como la temperatura, el nivel de tensión, el grado de contaminación de la zona geográfica y la presencia de sobretensiones en las líneas de transmisión.

El objetivo de esta tesis es demostrar el impacto que generan estos factores en el diseño del aislamiento en las líneas aéreas de transmisión, utilizando los métodos de aislamiento por esfuerzos eléctricos y de aislamiento directo por aire. En ambos casos, se trata de reducir los efectos negativos en el servicio y optimizar costos en la selección de aisladores.

ABSTRACT

This thesis aims to show the calculation methods used in the design of the electrical system isolation transmission to establish minimum requirements for insulation in high voltage overhead lines, within technical and economically permissible limits.

In the process of power transmission insulators play an important role for its ability to artificially create lines of flight that are opposed to electrical stress, however, a number of factors that can affect their working conditions, as well as temperature, voltage level, the degree of contamination of the geographical area and the presence of surges on transmission lines.

The aim of this thesis is to demonstrate the impact generated by these factors in the design of the insulation of overhead transmission lines, using the methods of electrical insulation and isolation efforts over the air. In both cases, this is to reduce the negative effects on service and optimize costs in the selection of insulators.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos de importancia crítica desde el punto de vista de la continuidad del servicio, para el planeamiento de los Sistemas Eléctricos de Transmisión, es el buen funcionamiento del Aislamiento en las Líneas Aéreas de Alta Tensión.

La mayoría de las perturbaciones en las líneas aéreas, son debidas a fallas en los aislamientos más que en otras causas [Capítulo 01: Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión del Ing. Juan Martínez Velasco]. Puede pensarse entonces que es conveniente sobredimensionar el aislamiento de las líneas como protección contra las sobretensiones ya que esto es posible de hacer; sin embargo, ello requiere incrementar el número de aisladores y la longitud de fuga, lo que implica construir estructuras más pesadas y por lo tanto más costosas.

En la medida que se aumentan las tensiones nominales de las líneas, los costos del aislamiento son cada vez más elevados, por lo tanto es necesario reducir el nivel de aislamiento, dentro de los límites técnicos admitidos, de tal forma que la calidad del servicio de transmisión de energía sea óptima.

1.1 Antecedentes:

Según datos históricos hasta la actualidad, en la Universidad Nacional del Santa no se ha registrado ningún estudio ni investigaciones sobre la influencia de las sobretensiones en el sistema de aislamiento de las líneas aéreas de alta tensión.

1.2 Justificación e Importancia:

- **Justificación:**

Teniendo en cuenta las fallas que pueden ocasionar las sobretensiones en las líneas aéreas, es necesario poner en conocimiento cuales son las principales causas de origen, para de esta manera prevenir y disminuir sus efectos.

El presente estudio tiene la finalidad de realizar una evaluación técnico – económico enfatizada a una adecuada selección de los aislamientos eléctricos para diferentes zonas del país.

Al realizar un análisis de los diferentes tipos de aislamientos eléctricos se podrá observar cuales son adecuados a utilizar, según los niveles de tensión, la altitud, la zona geográfica y el nivel de contaminación en la que se encuentre la línea de transmisión.

- **Importancia:**

- Pretende dar a conocer los factores que originan las sobretensiones en las líneas de transmisión.
- Permitirá conocer las consecuencias ocasionadas por las sobretensiones.
- Diseñar de manera adecuada los sistemas de aislamientos en líneas aéreas de alta tensión.
- Dar a conocer los conceptos referidos a la Coordinación de aislamientos eléctricos en líneas aéreas de alta tensión.

1.3 Lugar e Institución donde se realiza el Proyecto:

Lugar: Sistema Eléctrico Nacional - Regiones del Perú con altitudes entre 1000 y 5000 m.s.n.m.

Institución: Universidad Nacional del Santa

1.4 Formulación del Problema:

El problema surge teniendo en cuenta las tensiones elevadas que se utilizan en la actualidad, los fenómenos transitorios de sobretensión debido a las maniobras de cierre y apertura de los interruptores de las líneas que constituyen un tema fundamental a tener en consideración en el diseño del aislamiento, por ello surge la cuestión:

¿EN QUÉ MEDIDA INFLUYE LAS SOBRETENSIONES, LA POLUCIÓN Y EL DEPÓSITO EQUIVALENTE DE SAL PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN LAS LINEAS DE TRANSMISION PARA DIFERENTES NIVELES DE TENSIÓN Y ALTITUD, COMPRENDIDOS ENTRE 60 - 725 Kv Y 1000 - 5000 M.S.N.M.?

1.5 Formulación de la Hipótesis:

Para el diseño del sistema de aislamiento para líneas aéreas de alta tensión para diferentes niveles de tensión y altitud comprendidos entre 60-725 kV y 1000-5000 m.s.n.m.; influyen en 20% las sobretensiones, 30% la polución y un 45% el depósito equivalente de sal, que se ven reflejados en el aspecto técnico - económico.

1.6 Objetivos:

1.6.1 Objetivo General:

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño en forma óptima del sistema de aislamiento en líneas aéreas de alta tensión dentro de los límites técnicos y económicamente permisibles, para niveles de tensión comprendidos entre 60 – 725 Kv y altitudes entre 1000 – 5000 m.s.n.m.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los parámetros y variables que intervienen en el diseño de aislamientos en las líneas de transmisión.
- Evaluar y seleccionar el tipo adecuado de aislamiento eléctrico para cada nivel de tensión y altitud.
- Hacer una evaluación económica de los diferentes tipos de aislamientos eléctricos a utilizar.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 El Nivel de Aislamiento y Protección en Líneas Aéreas

2.1.1 Consideraciones básicas:

- **Tensión Nominal del Sistema:** Es el valor efectivo de la tensión fase fase, para el cual es diseñado un sistema.
- **Tensión Máxima del Sistema:** Es aquella en que se basan todos los niveles de aislamiento del sistema; se refiere a la máxima elevación de la tensión nominal, en condiciones normales de operación. Generalmente, la máxima tensión permisible, se expresa como un porcentaje sobre la tensión nominal, su valor varía según las normas de cada país. Para efectos de esta tesis, se considera un porcentaje de entre 5 a 10 %.
- **Nivel Básico de Aislamiento:** Es el valor de voltaje que el aislamiento de un sistema puede soportar repetidamente sin que se presente la descarga disruptiva. El nivel básico de aislamiento, generalmente se expresa en valor por unidad de valor pico de la tensión de funcionamiento normal respecto a tierra.

Los niveles de referencia se expresan en tensión de impulso pico con una onda estándar no mayor de $1,5 \times 50 \mu s$.

- **Tensión Permisible al Impulso:** Se denomina así al valor de la cresta de un impulso de rayo que puede ser aplicado al aislamiento bajo prueba, sin que se produzca falla o descarga disruptiva.
- **Tensión de Resistencia:** Es aquella en que el nivel del equipo resistirá durante un tiempo determinado o en un número de aplicaciones, sin que produzca una descarga disruptiva, es decir una falla del aislamiento (denominado contorneamiento cuando se producen en la superficie externa). Normalmente se realizan varios ensayos y se observa el número de descargas.
- **Tensión de Descarga Crítica:** Es aquella tensión pico, para lo cual, la probabilidad de una descarga disruptiva es de 50%, y es designado por V50.
- **Relación de Impulso:** Para el caso de una descarga o de una perforación del aislamiento, la relación de impulso está dado por la tensión pico de impulso dividido por el valor cresta de la tensión que produce la descarga o perforación.

2.1.2 Requerimientos Básicos:

A. Dieléctricos sólidos (Aisladores).

Función de los Aisladores:

Son materiales aislantes que sirven para crear artificialmente líneas de fuga o columnas de aire, para contraponerse a los esfuerzos eléctricos. Aunque son muy estables en condiciones normales de operación, sus características pueden cambiar bruscamente al hallarse en condiciones extremas de temperatura, sometidos a tensiones considerablemente altas o bajo la acción de agentes químicos y contaminación ambiental.

Fallas en los Aisladores: Las más comunes son debido a las siguientes fallas:

- **Conductividad de la Masa:** Un aislador ideal no debe ser conductor, en realidad deja pasar pequeñas corrientes que pueden ser despreciables.
- **Conductividad Superficial:** Debido a las condiciones ambientales, humedad, polvo y sales depositadas en la superficie del aislador.
- **Perforación de la Masa:** Por defecto en el interior del aislador, cocción irregular y falta de homogeneidad de la masa.
- **Descarga Disruptiva:** Por la forma de un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica no basta para evitar la descarga. La disrupción se facilita por la humedad y la acción de la lluvia.

Clasificación de los Aisladores:

Aisladores de vidrio templado: Son buenos y relativamente baratos, pero no es conveniente emplearlos en zonas de clima cálido; se utilizan para diferentes tipos de voltaje, incluso en líneas de Extra Alta Tensión (EHV). No obstante son más frágiles y de menor resistencia a la rotura, igualan a los de porcelana en las demás propiedades, superándolo ampliamente en su comportamiento eléctrico y en su resistencia a la perforación.



Fig.01: Aislador de Vidrio templado

Aisladores de porcelana: Son muy buenos y tienen preferencias en zonas polucionadas, especialmente donde se presentan lluvias con mayor frecuencia durante el año. Se eligen este tipo de aisladores por su resistencia a la intemperie, por su alta rigidez dieléctrica y por facilidad con que lo limpia la lluvia.

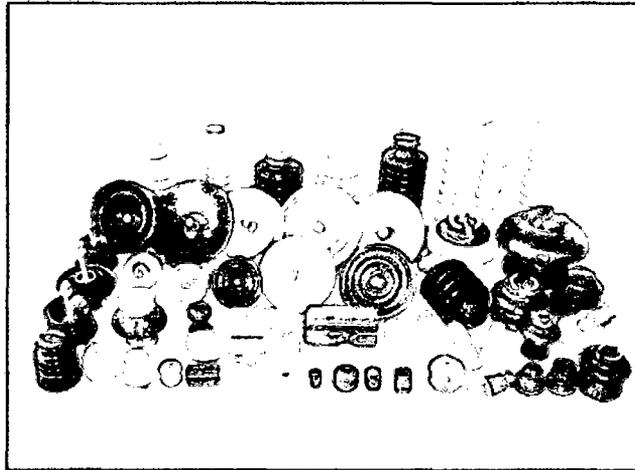


Fig.02: Variedad de Aisladores de porcelana

Tipos de Aisladores:

a) Según su longitud de fuga:

Normales: Son bastante usados en Líneas de Transmisión, sin embargo en zonas de fuerte polución, no es recomendable su uso, debido a que se requiere un mayor número de aisladores por cadena, lo que hace que la altura libre del conductor respecto al suelo disminuya, siendo las estructuras más grandes y pesadas, y por consiguiente de mayor costo.

Anti fog: Estos aisladores tienen una mayor longitud de fuga respecto a los aisladores normales. Son muy buenos en zonas contaminantes con suciedad de humos industriales o provenientes de la quema de combustibles, aunque son difíciles de limpiar con la línea en tensión, se debe cubrir con grasa de silicona y luego

practicarse una limpieza periódica. Este tipo de aislador permite obtener longitud de cadena menores, debido a la mayor longitud de fuga por cada aislador.

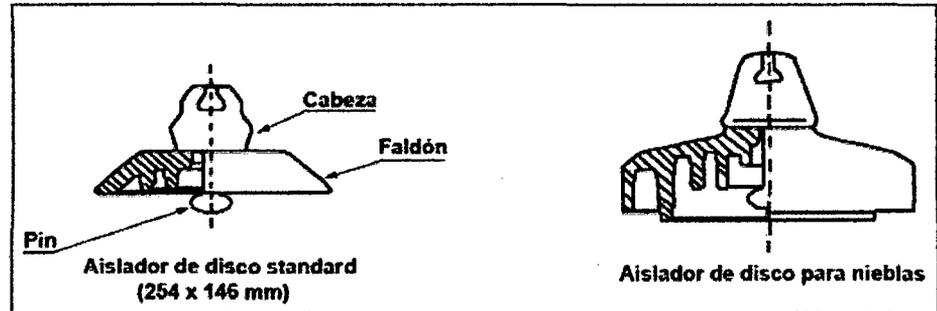


Fig.03: Detalle de un aislador normal y un aislador anti fog

b) Según su forma

Tipo Pin: Generalmente consta de una sola unidad, conformado por dos o más cascos concéntricos. Tienen pequeña longitud de fuga y un margen bajo de aislamiento. Son usados en portabarras, en líneas su uso es muy restringido.

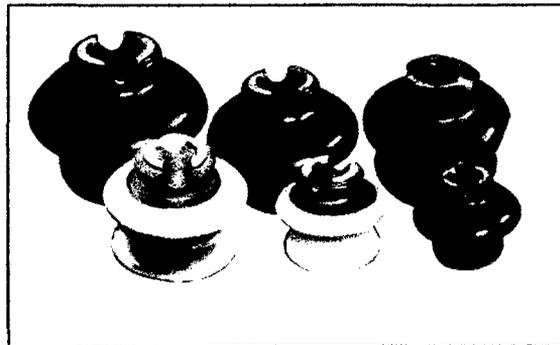


Fig.04: Aisladores de tipo Pin

Tipo Poste: Son de distribución corta y alta confiabilidad; poseen alta resistencia mecánica y al impacto. Se usan en líneas de transmisión y subestaciones, tienen la desventaja de mantener rígido al conductor, lo cual debilita al aislador, ya que puede absorber los esfuerzos que se producen a lo largo del conductor.

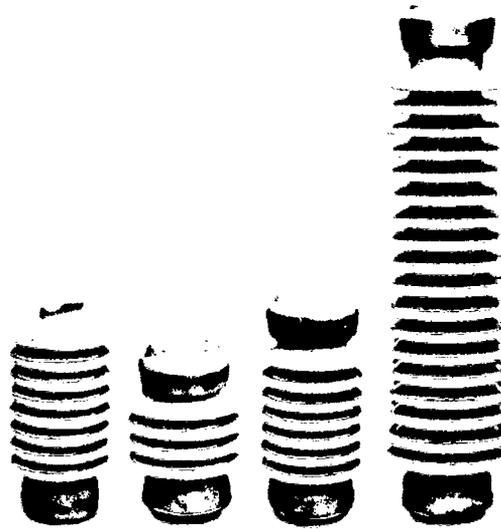


Fig.05: Aisladores de tipo poste

Tipo Suspensión: Este tipo de aislador permite un acoplamiento sencillo entre varias unidades, mediante articulaciones semiesféricas; permitiendo la formación de grandes cadenas de suspensión y amarre, vertical y horizontal, respectivamente. Puede soportar conductores pesados, consiguiéndose vanos relativamente grandes, lo que contribuye a usar un menor número de soportes. Además permiten realizar diferentes configuraciones en cuanto a la forma y a la longitud de línea de fuga.

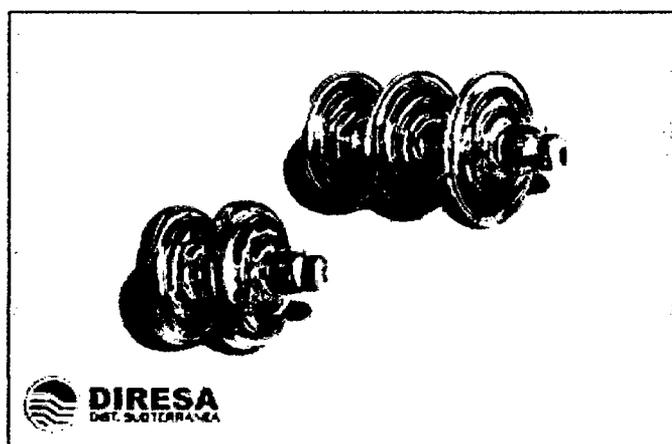


Fig.06: Aisladores de suspensión

Criterios de Diseño y Cálculo de la Cadena de Aisladores

- a) **Características Eléctricas:** Los aisladores y las cadenas completas deberán tener características eléctricas no inferiores a los requerimientos en las tablas de datos técnicos y el cálculo se efectuará en base al grado de aislamiento.

Grado de aislamiento: Es la relación entre la longitud de la línea de fuga de un aislador (o la total de la cadena) y la tensión entre las fases de la línea.

La longitud de la línea de fuga de un aislador sobre la superficie del mismo y la de una cadena de aisladores, es la longitud de un solo aislador multiplicado por el número de los que la componen.

- b) **Características Mecánicas:** Los tipos de aisladores para cadenas de suspensión y anclaje deben ser escogidos de manera que el factor de seguridad, es decir la relación de la carga mínima de rotura electromecánica y la máxima tensión transmitida por el conductor, no sea inferior a 2,5.
- c) **Condiciones Climáticas:** Deben ser aptas para soportar las condiciones climáticas más desfavorables de las zonas que atraviesan las líneas, y particularmente las variaciones repentinas de temperatura, sobrecargas de hielo y lluvias violentas.
- d) **Desviación Transversal:** Para definir la longitud mínima horizontal de la cadena a la torre; se debe tener en cuenta la desviación transversal de la cadena de aisladores debida a la acción horizontal del viento, cuyo efecto es elevar los cables y por consiguiente las cadenas.

B. Intervalos de Aire: Son las distancias mínimas que permiten, la utilización de brechas de aire naturales, donde los esfuerzos de tensión actúan directamente.

Distancia vertical fase-fase: Esta distancia se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$d_f = k\sqrt{(f + l)} + \frac{V_{max}}{150} \quad 2.1$$

Donde:

d_f : Distancia mínima vertical entre fases, (m)

f: Flecha máxima en la condición de temperatura máxima, (m)

l: longitud de la cadena de aisladores, (m)

V_{max} : Tensión máxima de servicio, (kV)

K: Coeficiente adimensional que depende de la oscilación de los conductores, según la siguiente tabla.

Tabla 01: Coeficiente de oscilación de conductor.

Ángulo de oscilación	Valores de k	
	<100kV	>100Kv
>65°	0.70	0.65
40-45°	0.65	0.60
<40°	0.60	0.55

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Distancia del Conductor al terreno: Los conductores con la máxima flecha vertical, deben quedar situados, a una distancia mínima sobre el territorio, se expresa con la siguiente ecuación:

$$d_t = 5.3 + \frac{V_n}{150} \quad 2.2$$

Donde:

d_t : Distancia del conductor al suelo, (m)

V_n : Tensión nominal de servicio, (kV)

Distancia del Conductor al soporte: Para determinar la distancia mínima entre el conductor y el soporte, en forma aproximada se utilizará la siguiente fórmula:

$$d_c = 0.1 + \frac{V_n}{150} \quad 2.3$$

Donde:

d_c : Distancia del conductor al soporte, (m)

V_n : Tensión nominal de servicio, (kV)

C. Cables de Guarda o Conductores de Tierra: Permiten la operación confiable de la línea al cumplir las siguientes funciones:

Protección de Faraday: Por interrupción de las descargas atmosféricas cuya corriente es superior a la corriente crítica asociada al aislamiento.

Uniformización del aterramiento: Mediante la conformación de un parámetro de puesta a tierra equivalente, cuyo bajo valor es favorable a la sensibilidad de la protección.

D. Aterramientos Eléctricos: Constituyen los niveles de potencial referenciales así como los puntos de dispersión de corrientes y están caracterizados por la resistencia de puesta a tierra para líneas aéreas de alta tensión con grandes holguras en el control de gradientes y en patios de maniobra de subestaciones con grandes capacidades de dispersión de corrientes y restricciones de potencial. Todos estos componentes deben responder satisfactoriamente a los esfuerzos de sobretensiones atmosféricas y por maniobra, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de funcionamiento natural, con atmósfera limpia o contaminada.

2.1.3 Sobretensiones en Líneas.

A. Sobretensiones de Origen Externo:

Origen de las Descargas Atmosféricas: Las descargas atmosféricas ocasionan sobrevoltajes de tipo externo y representan un problema para los Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica. Solo se dispone de algunas teorías para estudiar sus efectos:



Fig.07: Descarga atmosférica sobre una Línea de Transmisión.

- **Teoría de Simpson:** Sostiene que la formación de las cargas eléctricas en las nubes se debe a corrientes de aire que se encuentran en actividad en su interior. Las descargas se originan al ocurrir el rompimiento de las gotas de lluvia, desprendiéndose iones negativos que se dispersan en la atmósfera y que al ser transportados por las corrientes de aire hacia la parte inferior de la nube, las nuevas gotas quedan cargadas positivamente, en tanto la parte superior de la nube se carga en forma inductiva.
- **Teoría de Elsterl y Geital:** Se fundamenta sobre estudios realizados en una gota grande de lluvia, a través de un campo electrostático cuyo gradiente en la superficie es 100v/m. Debido a la acción de éste campo, la gota se polariza en la parte superior por una carga negativa y en el inferior por una carga positiva. El contacto entre gotas de diferente tamaño, originan un intercambio del signo de la carga en las gotas, las nubes aumentan su carga hasta llegar a un valor crítico en que se produce la tronada.
- **Teoría de Wilson:** Sostiene que las gotas de lluvia al caer adquieren carga producidos por los iones eléctricos que se encuentran presentes en las corrientes de aire ascendentes. Especifica también que para estudiar el origen de las descargas eléctricas en las nubes, es necesario considerar el rompimiento de las gotas y la separación de su carga eléctrica debido a la acción de la gravedad terrestre. En el proceso de lluvia, las gotas hacen contacto con los iones eléctricos presentes en el aire, dando origen a que aumente la ionización de la atmósfera que facilita la formación de la trayectoria del canal del rayo para descargar hacia la tierra o a la nube.
- **Teoría de los Cristales de hielo:** Trata de explicar la formación de cargas eléctricas, al chocar el granizo con otro, permitiendo que el aire adquiera carga positiva y el hielo carga negativa.

Tipos de Sobrevoltaje de Origen Externo:

- **Por carga Estática:** Estos voltajes se presentan en las líneas de transmisión por el simple hecho de que existen nubes, las cuales son desplazadas por el viento.
- **Por carga indirecta:** Se presenta en las líneas por la presencia de rayos que caen en puntos cercanos y que por efecto de inducción electrostática introducen transitorios en las líneas. Este tipo de sobrevoltaje es el más frecuente, puede ser grave dependiendo de la intensidad de la descarga y son los que más afectan a las líneas de media y baja tensión.
- **Por carga directa:** Este tipo de sobrevoltaje es el menos frecuente en las líneas, pero los que pueden causar los daños más graves, debido a la enorme cantidad de energía que traen las descargas atmosféricas.

Efecto de las Descargas Atmosféricas:

- Las corrientes del rayo alcanzan valores instantáneos excesivamente altos, que someten a los elementos de las líneas a esfuerzos dinámicos y térmicos. Para su disminución, requieren de un adecuado diseño de la línea de tierra.
- Los esfuerzos dinámicos debido a la corriente del rayo someten a los conductores (barras) a esfuerzos de atracción y repulsión que pueden llegar a romper aisladores y soportes.
- La corriente de rayo trae consigo una gran cantidad de energía calorífica obteniéndose temperaturas aproximadamente de hasta 8000°C, que pueden provocar la falla del aislamiento de los pararrayos, los cuales pueden destruirse por explosión, al no poder descargar la energía.

B. Sobretensiones de Origen Interno:

Sobretensiones Dinámicas: Son aquellos excesos de tensión sobre la tensión nominal.

Sobretensiones Transitorias: Son aquellas que se presentan cuando ocurre un transitorio en la red; ya sea por una falla, conexión o desconexión de una línea. En general las sobretensiones de origen interno se pueden clasificar en:

- **Sobretensiones por ocurrencia de fallas:** En un sistema eléctrico de transmisión, las fallas que pueden ocasionar problemas de sobrevoltaje en la red, debido a su asimetría, son las fallas a tierra; el caso más crítico lo representa la falla de línea a tierra.
- **Sobretensiones por operaciones de maniobra:** Las operaciones de maniobra, generalmente se refieren a la apertura o cierre de interruptores (switches), la cual pueden ocasionar graves sobretensiones, sobre todo cuando la apertura es por falla.

En los sistemas de potencia, los problemas más graves se presentan en líneas de transmisión con tensiones mayores a 100 Kv, pero también se puede presentar en sistemas de menor tensión con grandes cargas inductivas o capacitivas.

Apertura y cierre de interruptores: El medio de desconexión de los interruptores empleados en las líneas de transmisión, es a base de separación de contactos en un medio con una determinada constante dieléctrica. La desconexión puede provocar, que el arco eléctrico entre los contactos fijo y móvil que han quedado separados, se vuelva a restablecer, cuando la rigidez dieléctrica del medio de extensión (aceite, aire, SF₆) es muy baja debido a la ionización y a la magnitud de la falla. Este arco eléctrico somete a los contactos a un voltaje adicional, llamado voltaje de recuperación. La razón de éstos

sobrevoltajes se encuentra en que la interrupción de las corrientes en las tres fases no es simultánea, debido al desfase natural de las corrientes.

Los interruptores están diseñados para interrumpir en el cero natural de la corriente. De tal manera que cuando tiene que interrumpir una corriente de falla, el interruptor espera un cierto tiempo, hasta que la corriente pase por cero, almacenándose una energía que origina una corriente conocida como post-arco.

Desconexión de circuitos capacitivos: Las características que presentan los sobrevoltajes de recuperación dependen directamente del tipo de circuito desconectado (capacitivo o inductivo). Con la interrupción de los circuitos capacitivos, la capacidad queda cargada en el instante de la interrupción del arco con un valor V , para medio ciclo después, la tensión del sistema es $-V$, dando una tensión en el espacio abierto de $2V$. Si se rompe dicho espacio abierto, se establece una corriente transitoria oscilante, que dependiendo de la capacitancia del sistema se puede tener una “carga atrapada”, que origina sobrevoltajes muy elevados en la red, conocidos como REIGNICIÓN, si ocurren después del primer cuarto de la onda y RESTRIKE, si ocurren después del primer cuarto de la onda.

Maniobra de circuito inductivo: Por desconexión de circuitos se presentan transitorios que provocan sobrevoltajes en la red y pueden ser graves, si en los circuitos inductivos circulan corrientes pequeñas.

Con mayor incidencia se presenta por:

- a) Desconexión de transformadores en vacío
- b) Apertura o cierre de neutralizadores de falla a tierra.
- c) Apertura de bobinas de compensación alimentadas por transformadores.

- **Sobretensiones por resonancia lineal y ferorresonancia:** La resonancia está asociada normalmente con la capacidad a tierra de los equipos de la central y con frecuencia se inicia por una fase abierta debido a un conductor roto o a la actuación de un fusible. Aunque es poco probable que se obtenga la resonancia en una línea a frecuencia de suministro normal, es posible que se obtenga esta condición a frecuencias armónicas. En los circuitos que contienen arrollamientos tales como reactancias con núcleos de hierro, debido a la forma de la curva de imantación, es posible que se presenten fenómenos de ferorresonancia; este fenómeno puede producir resonancia con sobretensiones.

- **Resonancia con pérdida súbita de carga:** Cuando un generador alimenta una carga y por alguna razón pierde la carga súbitamente, en el momento de producirse la desconexión, aparece la reactancia transitoria ($X'd$) por la variación del campo magnético en su trayectoria dentro de la máquina.

Al perder carga el generador, se rompe el equilibrio entre la potencia mecánica en el eje y la potencia eléctrica de salida tiende a ser cero; esto significa que la potencia mecánica, es mayor que la potencia eléctrica en los terminales de salida, entonces se produce un aumento de velocidad que provoca una variación de la frecuencia y por lo tanto la reactancia inductiva y capacitiva cambian de valor, y pueden ocasionar sobretensiones transitorias graves; sobre todo si la desconexión se efectúa al final de la línea.

2.2 La Polución y su Incidencia en el Costo de Líneas Aéreas

- ### 2.2.1 Consideraciones Básicas:
- La contaminación en el aislamiento de las Líneas de Transmisión, varían según la ubicación geográfica de la línea. Es causada por una gran variedad de agentes tales como: hollín

(producto de la combustión de carbón y petróleo), polvo de cemento, lluvia salina, plaguicidas, cenizas, fertilizantes, etc.



Fig.08: Aislador expuesto a la contaminación Industrial.

- A. Efectos de la Polución:** Cuando la superficie de un aislador con una película de material contaminado, se humedece debido a la lluvia o niebla, se convierte en conductora y empieza a circular una corriente de pérdida superficial de un valor más elevado que el valor correspondiente a la superficie seca. La densidad de la corriente es más alta, y el calor generado aumenta la temperatura de la película hasta el punto de ebullición del agua, formándose bandas secas, al producirse la evaporación de la humedad. Normalmente estas bandas a lo largo del aislamiento tienen una resistencia elevada y soportan casi toda la tensión al producirse el arco por la ruptura del aire. Si la precipitación es baja la banda seca se amplía, el arco alcanza cierta longitud y se extingue; sin embargo, con un aumento de precipitación de lluvia, se originan rupturas del aire, volviéndose a producir el arco; y si la velocidad de la precipitación equilibra a la pérdida de humedad, el arco alcanza una condición estable y puede continuar durante un tiempo más considerable.

B. Métodos para evitar las descargas debido a la polución: Para evitar que se produzcan descargas debido a la polución, se utilizan los siguientes métodos:

- Aumento de la longitud de línea de fuga del aislador.
- Engrase de la superficie del aislador, para evitar la formación de películas continuas de contaminación.
- Lavado de las superficies con agua mediante chorros de manguera, cuando el equipo está conectado.

C. Grado de aislamiento: El grado de aislamiento (o de polución), dependen del tipo y densidad de los contaminantes, en las diferentes zonas geográficas que atraviesan las líneas. Se denomina así a la relación entre la longitud de la línea de fuga de un aislador o cadena de aisladores y la tensión entre fase de la línea.

En el presente trabajo se analizarán zonas de trabajo entre la sierra y la costa, según los grados de aislamiento recomendados que se indican en la tabla 02.

Tabla 02: Grado de aislamiento recomendado (cm/kV) según clasificación de zonas

Zona de Trabajo	Conductor a tierra	Conductor entre fases
Rural (ambiente limpio sin polución)	1.15	1.70
Forestal y agrícola (ambiente ligeramente polucionado)	1.45	2.00
Industrial, fábricas y plantas metalúrgicas (polución severa)	1.75	2.60
Industrial próximo al mar 15% sales (polución fuerte)	2.55	3.80
Borde del mar (polución alta)	2.95	4.30

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

2.2.2 Análisis de la Polución y costos para diferentes tipos de aisladores:

Para analizar los efectos de la polución y su incidencia en los costos de las líneas de transmisión, se utilizará las siguientes expresiones para calcular el número de aisladores por cadena, en diferentes altitudes, niveles de tensión y zonas de trabajo por donde atraviesan las líneas.

Número de aisladores (N_a):

$$N_a = \frac{G_a \times V_{max} \times f_h}{\sqrt{3} \times L_f} \quad 2.4$$

Donde:

G_a : Grado de aislamiento (cm/kV)

V_{max} : Tensión máxima del sistema (kV)

L_f : Longitud de la línea de fuga (cm)

f_h : Factor de corrección por altura

Factor de corrección (f_h):

Para altitudes menores a 1000 m.s.n.m., $f_h = 1.0$

Para altitudes mayores a 1000 m.s.n.m., en forma aproximada debe aumentar 1.25% por cada 100 m, es decir:

$$f_h = 1 + \frac{h-1000}{100} \times 0.0125 \quad 2.5$$

Donde, h: Altitud en m.s.n.m.

Tabla 03: Factor de corrección por altura.

Altitud (m.s.n.m.)	≤ 1000	2000	3000	4000	5000
Factor de corrección	1.0	1.125	1.25	1.45	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 04: Tensión máxima del sistema.

Tensión nominal (kV)	60	138	220	380	500	725
Tensión máxima (kV)	72.5	145	245	420	550	765

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Tabla 05: Aislador de porcelana tipo suspensión.

TIPO	NORMA ANSI		DIAMETRO		ESPACIO		DISTANCIA DE FUGA		CARGA ELECTROMECAÁNICA	
	Tipo	Clase	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	Lbs.	Kg.
NORMAL	B	52-3	254	10	146	5-3/4	292	11-1/2	18000	8200
	J	52-5	254	10	146	5-3/4	292	11-1/2	25000	11400
	K	52-8	254	10	146	5-3/4	318	12-1/2	36000	16500
	K	52-11	280	11	156	6-1/8	381	15	50000	22800
ANTIFOG	B	52-3	254	10	146	5-3/4	432	17	18000	8200
	J	52-5	254	10	146	5-3/4	432	17	25000	11400
	K	52-8	292	11-1/2	159	6-1/4	470	18-1/2	36000	16500
	K	52-11	320	12-5/3	178	7	550	21-1/2	50000	22800

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Tabla 06: Aislador de vidrio tipo suspensión.

TIPO	NORMA ANSI C29-2		DIAMETRO		ESPACIO		DISTANCIA DE FUGA		CARGA ELECTROMECAÁNICA	
	Tipo	Clase	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	Lbs.	Kg.
NORMAL	B	52-3	255	10	146	5-3/4	320	12-5/8	15000	6800
	J	52-5	255	10	146	5-3/4	320	12-5/8	25000	11400
	K	52-8	280	11	146	5-3/4	380	15	36000	16500
	K	52-11	280	11	170	6-11/16	380	15	50000	22300
ANTIFOG	B	52-3	255	10	146	5-3/4	390	15-3/8	15000	6800
	J	52-5	255	10	146	5-3/4	390	15-3/8	25000	11400
	K	52-8	320	12-5/8	170	6-11/16	530	20-7/8	36000	16500

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

2.3 El Depósito Equivalente de Sal y su Efecto en el Costo de Líneas

Aéreas

- 2.3.1 Consideraciones Básicas:** La contaminación superficial del aislamiento bajo condiciones de humedad ambiental mayor al 80% o bajo neblina, rocío y corrientes de aire, ocasiona la reducción del aislamiento a lo largo de la línea de fuga del aislador, formándose bandas secas por evaporación de la humedad, dando como resultado la ruptura del aire y la formación de un arco.

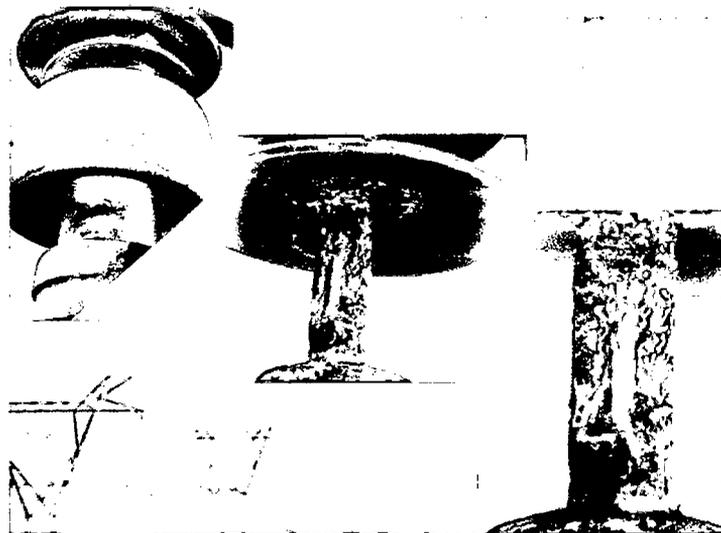


Fig.09: Aisladores expuestos a corrosión por el depósito equivalente de sal en zonas cercanas al mar.

Zonas de contaminación: La contaminación más fuerte se presenta en las zonas que se encuentran al borde del mar y la más baja en zonas rurales con ambiente limpio sin quema de forrajes; por lo tanto para determinar el nivel de contaminación, se debe tener en cuenta las características particulares de cada zona. En el presente trabajo, se tomarán los rangos de depósito de sal según los datos que se indican en la tabla 4. Sin embargo, si se quiere tener una información más precisa del nivel de contaminación, para dimensionar el aislamiento y

programar el mantenimiento preventivo, se debe medir la contaminación en intervalos de tiempo comprendido entre tres meses y dos años.

Tabla 07: Depósito equivalente de sal según zona de contaminación

Zona de contaminación	Características	Densidad de depósito (mg/cm ²)
Ligera	Zona rural, ambiente limpio	<0.03
Moderada	Niebla, lluvias intensas	0.03-0.06
Media	Fertilizantes, metalúrgica	0.06-0.12
Severa	Fábricas, metalurgia	0.12-0.24
Alta	Polvos de carbón, cemento, petróleo	0.24-0.50
Muy alta	Borde del mar, gran cantidad de ceniza y salinidad, productos químicos	>0.50

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Criterios de diseño: Los parámetros que se deben tener en cuenta son los siguientes:

- a) Contaminación natural: Nivel de contaminación en términos de densidad de depósito expresado en mg/cm² de NaCl.
- b) Tensión máxima de servicio: Tensión de diseño del aislamiento interno de los equipos y aparatos de alta tensión.
- c) Tensión de sostenimiento unitario: Relaciona la tensión de sostenimiento de cada aislador con la densidad de contaminación en equivalente salino.
- d) Condiciones ambientales: Densidad relativa del aire, viento, humedad y precipitaciones.
- e) Geometría de las estructuras: Disposición física del aislamiento, forma de los aisladores y perfil de la línea de fuga.

Diseño del aislamiento para sobretensiones a frecuencia industrial:

Para dimensionar el aislamiento por sobretensiones a frecuencia industrial, se debe tener en cuenta el grado de contaminación según la zona de trabajo y las características de sostenimiento unitario del aislador, para diferentes niveles de salinidad equivalente.

a) Número de aisladores (N_a):

$$N_a = \frac{V_{max} \times f_h \times f_n}{\sqrt{3} \times E_s} \quad 2.6$$

Donde:

V_{max} : Tensión máxima del sistema (kV)

f_h : Factor de corrección por altura

f_n : Factor de sobretensión de la red (1.10)

E_s : Tensión de sostenimiento unitario (kV/u)

b) Tensión de sostenimiento unitario: En la tabla 08, se indica los valores de tensión de sostenimiento unitario, para diferentes niveles de tensión.

Tabla 08: Relación entre la tensión de sostenimiento por unidad de aisladores con la densidad de depósito de contaminación.

Densidad de depósito de NaCl (mg/cm ²)	Tensión de sostenimiento unitario (kV/u)						Zona de contaminación
	Aisladores de porcelana				Aisladores de vidrio		
	52-3B y 52-5J		52-8K		52-3B, 52-5J y 52-8K		
	Normal	Antifog	Normal	Antifog	Normal	Antifog	
0.03	12.80	17.00	13.80	18.60	13.50	17.20	Ligera
0.05	11.60	15.00	12.60	15.60	11.86	14.60	Moderada

0.10	9.90	12.90	10.20	14.40	10.20	12.40	Media
0.21	8.80	11.40	10.00	13.00	9.27	11.10	Severa
0.42	7.60	9.90	8.84	12.00	7.40	8.50	Alta
0.55	7.20	8.50	8.20	11.50	6.42	7.20	Muy alta

Fuente: P. SIMON COMIN, "Calculo y Diseño de Líneas Eléctricas de Alta Tensión".

Diseño del aislamiento por sobretensiones de maniobra: En zonas contaminadas, para dimensionar el aislamiento, se debe tener en cuenta el grado de contaminación, la máxima sobretensión por maniobra y la tensión de sostenimiento unitario a impulsos, que los fabricantes recomiendan para los diferentes tipos de aisladores.

a) Número de aisladores (N_a):

$$N_a = \frac{\sqrt{2} \times V_{max} \times f_s \times f_h}{\sqrt{3} \times E_{st}} \quad 2.7$$

Donde:

N_a : Número de aisladores

f_s : Factor de sobretensión (tabla 10)

f_h : Factor de corrección por altura

E_{st} : Tensión unitaria de sostenimiento a impulsos (kV/u), tabla 09

2.3.2 Análisis de los costos cuando varía el depósito equivalente de sal:

Para determinar los costos cuando varía el depósito equivalente de sal, se hallará el número de aisladores, teniendo en cuenta las zonas de contaminación, las sobretensiones por maniobra y operación.

Tabla 09: Relación entre tensión de sostenimiento a impulsos con la densidad de depósito de contaminación:

Densidad de depósito de NaCl (mg/cm ²)	Zona de contaminación	Tensión de sostenimiento a impulsos (kV/u)	
		Aislador 52-3 B	
		Normal	Anti fog
0.03	Ligera	36	52
0.05	Moderada	30	46
0.10	Media	23.5	40
0.20	Severa	22	36
0.40	Alta	20	33
>0.50	Muy alta	18	31

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

2.4 La Tensión de Sostenimiento y su Efecto en el Costo de Líneas Aéreas

2.4.1 Análisis Teórico: La tensión de sostenimiento o tensión resistente está en función de la tensión de contorneo o tensión crítica de flameo a 50%. En el caso de maniobra de interruptores, la ruptura no ocurre en un valor específico, sino que obedece a una curva de distribución normal.

Considerando el método semiprobabilístico de los máximos esfuerzos resistentes, el diseño del aislamiento en líneas de alta tensión, para sobretensiones por maniobra, se dimensiona teniendo en cuenta que la tensión de sostenimiento sea mayor o igual que la máxima sobretensión por maniobra y se verifica comparando la tensión resistente con la tensión crítica por maniobra a 50%.

a) Máxima sobretensión por maniobra: Esta sobretensión es de naturaleza transitoria, por lo general presenta una magnitud de onda

que puede ser de frente largo (1000-1500 μ s) cuando la desconexión se efectúa en el lado de baja tensión del transformador o de frente corto (100-300 μ s), cuando la desconexión se efectúa en el lado de alta tensión.

Las ondas de sobretensión por maniobra son de mayor duración que las ocasionadas por rayo, su magnitud se puede estimar a partir de la expresión:

$$V_{sm} = \frac{k_s \times \sqrt{2} \times V_{max}}{\sqrt{3}} \quad 2.8$$

Donde:

V_{sm} : Máxima sobretensión por maniobra (kV)

V_{max} : Tensión máxima del sistema (kV)

K_s : Factor de sobretensión, depende del desbalance de fases y del restablecimiento del sistema.

b) Tensión de sostenimiento: Según EPRI (Electric Power Research Institute) se tiene:

- Probabilidad de disrupción: 0.13%

- Probabilidad de sostenimiento: 99.87%

$$V_{so} = V_{cm} [1 - 3\sigma_1] = 0.85V_{cm} \quad 2.9$$

Donde:

V_{so} : Tensión de sostenimiento (kV)

V_{cm} : Tensión crítica de contorno por maniobra (kV)

σ_1 : Factor experimental 5%

También se puede hallar en forma aproximada para condiciones ambientales externas, mediante la expresión:

$$V_{so} = 1.15 \times V_{sm} \times (k_h/\delta)^n \quad 2.10$$

Donde:

K_h : Factor de corrección por humedad

δ : Factor de corrección por densidad relativa del aire

n : Exponente que depende de la brecha de aire o distancia de no arqueado

c) **Tensión crítica de contorneo por maniobra:** A condiciones normales se obtiene de la siguiente relación:

$$V_{so} \geq V_{sm}k$$

De las expresiones (2.8) y (2.9) se tiene:

$$V_{sm} = 0.96 \times k_s \times V_{max} \quad 2.11$$

A condiciones ambientales, la tensión crítica de contorneo es afectada por las precipitaciones, la humedad y la densidad relativa del aire. Luego:

$$V_{cm} = 0.96 \times k_s \times k_1 \times V_{max} \times \left(\frac{k_h}{\delta}\right)^n \quad 2.12$$

Donde:

K_s : Factor de sobretensión

K_1 : Factor de corrección por lluvia

K_h : Factor de corrección por humedad

δ : Factor de corrección por densidad relativa del aire

n : Exponente de corrección, que depende de la brecha de aire

d) Tensión máxima resistente a 50%: Considerada la tensión de ruptura entre diferentes configuraciones de electrodos, se tiene la expresión siguiente:

$$V_{rm} = V_{cm} = k \times 500 \times (d)^{0.6} \quad 2.13$$

Donde:

V_{rm} : Tensión máxima resistente (kV)

d: Distancia de conductor a tierra (m)

k: Factor de seguridad (1.02)

e) Presión barométrica: En forma aproximada se puede hallar mediante la fórmula de Halley [3]:

$$\log p = \log p_0 - \frac{h}{18.336} \quad 2.14$$

Donde:

p: Presión barométrica a una altitud h, en cm Hg(MERCURIO)

p_0 : Presión barométrica al nivel del mar, en cm Hg

h: Altitud en m.s.n.m.

f) Densidad relativa del aire: Se puede evaluar a partir de la expresión:

$$\delta = \frac{3.926 p}{273+t} \quad 2.15$$

Donde:

δ : Densidad relativa del aire a condiciones atmosféricas no estandarizadas

p: presión barométrica (cm Hg)

t: Temperatura para diferentes altitudes (°C)

2.4.2 Costo por variable de la tensión de sostenimiento: Para analizar los costos, se determinará el número de aisladores por cadena; teniendo en cuenta la variación de la tensión de sostenimiento para diferentes altitudes, niveles de tensión y el espacio del aislador.

a) Distancia del conductor a tierra: De la expresión (2.13), se tiene:

$$d = (V_{cm}/600)^{1/0.6} \quad 2.16$$

Donde:

d: Distancia del conductor a tierra, (m)

V_{cm} : Tensión crítica disruptiva (kV)

Tabla 10: Factor de sobretensión

Tensión nominal (kV)	60	138	220	380	500	725
Tensión máxima (kV)	72.5	145	245	420	550	765
Factor de sobretensión (k_s)	2.7	2.6	2.5	2.25	2.0	1.7

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Tabla 11: Exponente de corrección simultáneamente de la relación (h/δ)

Exponente (n)	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.35
Brecha de aire (m)	2.00	2.20	2.80	3.20	4.20	5.70	8.00	10.00

Fuente: Notas del Curso de Alta Tensión y Pruebas de Laboratorio del Ing. Justo Yanque-UNI.

Tabla 12: Factor de corrección por humedad

Altitud (m.s.n.m.)	1000	2000	3000	4000	5000
Factor de humedad (k_h)	0.95	0.96	0.98	1.03	1.05

Fuente: J. Martínez Velasco, "Coordinación De Aislamiento En Redes Eléctricas De Alta Tensión".

Tabla 13: Distancia mínima de no arqueo entre el conductor y estructura (m)

Altitud (m.s.n.m.)	Presión Atm. cm Hg	Temperatura (°C)	Densidad relativa del aire	Tensión nominal (kV)					
				60	138	220	380	500	725
0	76	35	0.97	0.65	1.35	2.15	3.05	3.45	5.20
1000	67.4	35	0.87	0.65	1.35	2.15	3.05	3.45	5.20
2000	59.8	30	0.78	0.78	1.52	2.42	3.40	3.85	5.85
3000	52.6	25	0.70	0.81	1.68	2.68	3.80	4.25	6.50
4000	46.4	20	0.63	0.86	1.85	2.95	4.20	4.75	7.00
5000	40.7	15	0.56	0.95	2.00	3.20	4.50	5.20	7.50

Fuente: J. Martínez Velasco, "Coordinación De Aislamiento En Redes Eléctricas De Alta Tensión".

b) Número de aisladores:

$$N_a = \frac{L}{e} = \frac{1.05 d}{e} \quad 2.17$$

Donde:

L: Longitud de la cadena (m)

e: Espacio del aislador (m)

2.5 La Tensión de Impulso y su Efecto en el Costo de Líneas Aéreas

2.5.1 Análisis teórico

Para el diseño de aislamiento de las Líneas de Transmisión por sobretensiones de origen atmosférico, se requiere disponer de un método confiable de predicción, para determinar el índice de flameo y las salidas de operación de la línea, teniendo en cuenta la tensión crítica de impulso (tensión de pico para que la probabilidad de una descarga disruptiva sea del 50%). Normalmente el nivel de aislamiento al impulso se ha establecido en un valor superior al nivel de protección en 20 a 25% y se verifica con pruebas de sobretensión al impulso de rayo normalizado, con una onda de 1.2/50 μ s; los valores recomendados se indican en la tabla 14.

Según la carga de las nubes, los rayos pueden ser negativos o positivos, siendo la relación de 5 a 1, en regiones templadas. La corriente de la descarga puede alcanzar hasta un valor de 200 kA, correspondiendo entre el 70 % y 80% a rayos de 10kA y 15 kA. Los rayos positivos alcanzan corrientes hasta de 150 kA y los de polaridad negativa hasta 50 kA, aunque los valores medios pueden asumirse en 20 kA, mientras que la variación del escarpado medio de la onda de impulso, es mayor para corrientes de rayo negativos de aproximadamente 20kA/ μ seg y moderado para las corrientes de rayo positivo aproximadas a 2kA/ μ seg.

Algunas corrientes de descarga en función de la tensión nominal se indican en la tabla 15, las ondas de descargas en las líneas de transmisión se pueden presentar por varios mecanismos:

a) **Tensiones inducidas:** La mayoría de las descargas tiene lugar en puntos adyacentes de las líneas, produciéndose en todos los conductores efectos de inducción electrostática y efectos electromagnéticos en la velocidad de variación de la corriente de

descarga, dando como resultado tensiones en la línea en forma de ondas viajeras.

Estas ondas se pueden producir también por un proceso de inducción sobre la línea, por la presencia de nubes cargadas.

Tabla 14: Niveles básicos de aislamiento al impulso de rayos normalizados.

Tensión nominal (kV)	Tensión máxima (kV)	NBI recomendado	
		P.U.	kV
60	72.5	4.82	350
138	145	4.48	650
220	245	4.28	1050
380	420	3.40	1425
500	550	2.95	1675
725	765	2.60	2000

Fuente: L. MARÍA CHECA, "Líneas de Transporte de Energía".

Tabla 15: Corrientes de descarga en función de las tensiones del sistema

Tensión Nominal (KV)	Corriente de descarga (KA)
60	5
138	5
220	10
380	10
500	15
725	20

Fuente: L. MARÍA CHECA, "Líneas de Transporte de Energía".

b) Descargas directas: La descarga cae directamente sobre un conductor de fase, pese a la existencia de cables de guarda, la corriente de descarga inyectada en la línea fluye en ambas direcciones produciendo las más altas sobretensiones.

La disrupción en la cadena de aisladores puede producirse, si la sobretensión sobrepasa el nivel de aislamiento de la línea. Para cada sobretensión existirá una corriente crítica de descarga por debajo de la cual no se producirá la disrupción, así para elevados niveles de aislamiento en líneas de alta tensión, la posibilidad de disrupción se reduce, quedando prácticamente nula para líneas de ultra alta tensión.

c) Descargas sobre estructuras: En muchos casos se presenta descargas que caen sobre la estructura o sobre el cable de guarda de protección; produciendo disrupciones inversas al superar el sostenimiento de las tensiones de impulso en las cadenas de aisladores.

La sobretensión aplicada a la cadena de aisladores, se produce debido a que la corriente de descarga se transmite fácilmente por el cable de guarda y por la estructura hacia la tierra. La magnitud de la descarga es difícil de calcular ya que depende de la forma de onda de la corriente impulsional, la duración del tiempo de frente, el comportamiento transitorio de la impedancia de tierra y la repartición de la corriente a través del cable de guarda en las estructuras vecinas, siendo mayores las sobretensiones cuando mayor sean las distancias.

La puesta tierra es muy importante siendo necesario conocer las resistencias de dispersión a lo largo de la línea y la auto inductancia propia de la estructura.

2.5.2 Costos cuando varía el impulso crítico: Para analizar los costos cuando varía la tensión de impulso crítico; se determinará el número de aisladores, teniendo en cuenta la tensión crítica de impulso y la longitud de la cadena de aisladores, para diferentes altitudes y niveles de tensión.

a) Tensión crítica de impulso: Para sobretensiones por rayo se puede utilizar la siguiente relación:

$$VCI = \frac{NBI}{(1.0 - 1.3\sigma)\delta r} \quad 2.18$$

Donde:

VCI: Tensión crítica de impulso (KV)

NBI: Nivel básico de aislamiento de impulso (KV)

$\sigma = 0.03$ desviación estándar. Valor experimental

$\delta =$ densidad relativa del aire

Los valores de la tensión crítica de impulso se indican en la tabla 16.

b) Longitud de cadena:

La longitud de la cadena de aisladores en función de la tensión crítica de impulso, para aisladores estándar se obtiene de la figura 10, los valores se indican en la tabla 17 y se puede evaluar en forma aproximada según la relación siguiente:

$$L = \frac{VCI}{618.55} \quad 2.19$$

Donde:

L: Longitud de la cadena (m)

VCI: Tensión crítica de impulso (KV)

c) Número de aisladores:

El número de aisladores, en función de la tensión crítica de impulso, para aisladores estándar, se puede obtener de la figura 10 según la relación siguiente:

$$Na = \frac{VCI}{90.72} \quad 2.20$$

Donde:

Na: Numero de aisladores

Para otros tipos de aisladores, se evaluara a partir de la relación (2.19) teniendo en cuenta el espacio de los mismos.

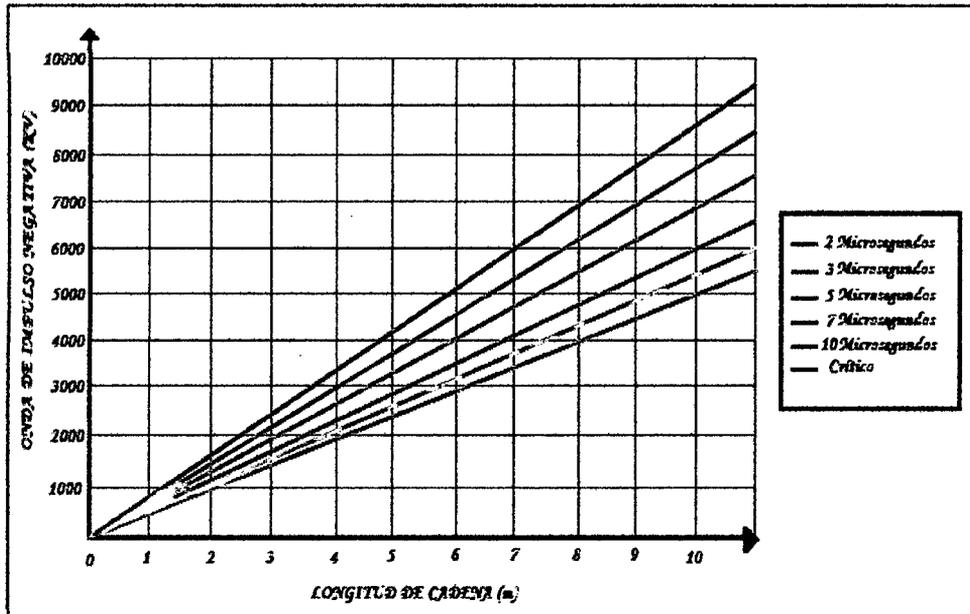


Fig.10: Tensión de impulso; aislador estándar (5 3/4” – 10”)

Tabla 16: Tensión crítica de impulso para diferentes altitudes y niveles de tensión

Tensión Nominal (kV)	Tensión crítica de impulso (kV)				
	Altitud (m.s.n.m.)				
	≤ 1000	2000	3000	4000	5000
60	419,00	467,60	520,30	578,00	650,40
138	786,5	867,1	966,2	1056,8	1207,8
220	1270,5	1406,8	1560,9	1707,2	1951,1
380	1704,4	1901,1	2118,3	2353,7	2647,9
500	2003,4	2234,6	2490,1	2766,6	3112,4
725	2392,1	2668,1	2973,1	3303,4	3716,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Longitud de la cadena de aisladores para diferentes altitudes y niveles de tensión

Tensión Nominal (kV)	Longitud de cadena (m)				
	Altitud (m.s.n.m.)				
	≤ 1000	2000	3000	4000	5000
60	0.68	0.75	0.84	0.93	1.05
138	1.27	1.40	1.56	1.70	1.95
220	2.05	2.26	2.52	2.76	3.15
380	2.75	3.07	3.42	3.80	4.28
500	3.24	3.61	4.00	4.47	5.03
725	3.86	4.31	4.80	5.34	6.00

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Cálculo de Aisladores en Líneas Aéreas de Alta Tensión

2.6.1 Consideraciones de diseño: Un adecuado diseño debe asegurar el aislamiento del conductor en cualquier condición climática. El cálculo de la cadena de aisladores debe hacerse, considerando los esfuerzos eléctricos y mecánicos, ejercidos por el medio ambiente y las solicitaciones permanentes de operación, tal como se indica en el diagrama de bloques de la fig. 11.

2.6.2 Cálculos Eléctricos: Los cálculos eléctricos se realizan, teniendo en cuenta, la tensión eléctrica permanente, las sobrecargas debidas a la red, las descargas por rayos, los efectos contaminantes del medio ambiente, las características de los aisladores, y las condiciones ambientales de altura, humedad y temperatura.

2.6.3 Cálculos Mecánicos: Los aisladores de suspensión utilizados en las líneas de transmisión, están sometidos a las aplicaciones repetidas de esfuerzos mecánicos, tales como, las variaciones de la tensión mecánica de los conductores debido a los cambios de temperatura, los esfuerzos

debido a los cortocircuitos y las cargas mecánicas suplementarias por efecto del viento y del hielo.

En el presente estudio se ha desarrollado los distintos métodos para diseñar el aislamiento de las líneas de alta tensión, desde el punto de vista eléctrico. Sin embargo es conveniente tratar brevemente el cálculo mecánico de la cadena de aisladores por la importancia que tiene, para el dimensionamiento de los soportes y por la necesidad de comprobar la resistencia mecánica de las cadenas, teniendo en cuenta los factores de seguridad siguientes:

- a) Los aisladores deben tener un factor de seguridad mínimo igual a 2.5, basado sobre la resistencia electromecánica combinada, es decir cuando los esfuerzos mecánicos y eléctricos se producen en forma combinada.
- b) Las cadenas completas de aisladores de anclaje, incluyendo sus elementos de fijación, deben tener un factor de seguridad mínimo de 3.5 basado en el esfuerzo de rotura.
- c) Las cadenas completas de aisladores de suspensión, incluyendo sus elementos de fijación deben tener un factor de seguridad mínimo de 2.5, basado sobre el esfuerzo de rotura.

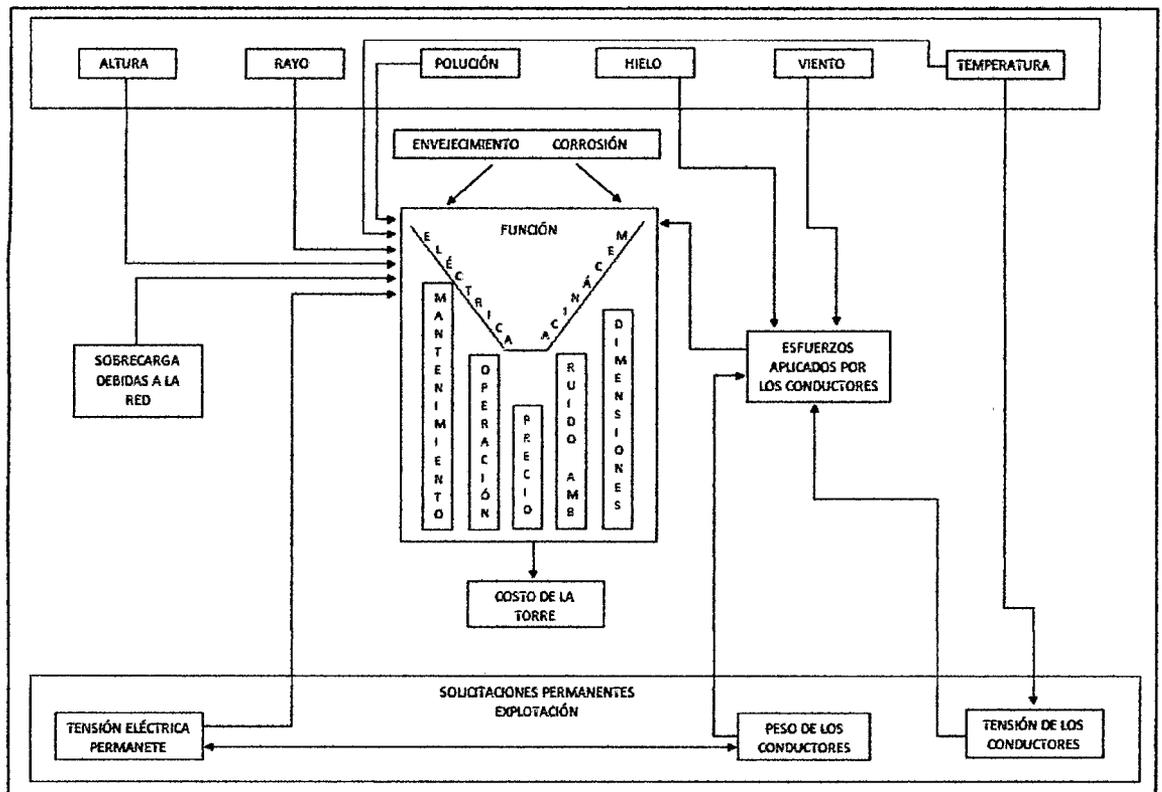


Fig.11: Diagrama de bloque para diseñar el aislamiento en líneas aéreas de A.T.

Aisladores Normales: Para determinar el ángulo de desviación de la cadena de aisladores, se analiza los siguientes casos:

- **Aisladores en alineamiento o suspensión:** La acción del viento sobre los conductores, ocasionan que la cadena de aisladores se desplace de su posición normal, según la dirección del viento (ver fig. 12).

En el momento que la cadena de aisladores alcanza el máximo desplazamiento, al ángulo de desviación se puede determinar mediante la expresión siguiente:

$$\operatorname{Tg}\theta = \frac{P_{vc} + P_{va}/2}{W_c + P_{ca}/2} \quad 2.21$$

Donde:

W_c : Peso del conductor

P_{ca} : Peso de la cadena del aislador

P_{vc} : Presión del viento sobre los conductores

P_{va} : Presión del viento en la cadena del aislador

θ : Angulo de máxima oscilación

La presión del viento sobre los conductores se puede hallar a partir de la presión del viento unitario y del eolovano, que viene a ser la longitud para determinar las fuerzas transmitidas a los soportes y se calcula como el promedio de los vanos adyacentes al soporte.

El peso de los conductores se calcula a través del gravivano, que viene a ser la distancia entre los vértices de los puntos más bajos del conductor en los vanos adyacentes al soporte.

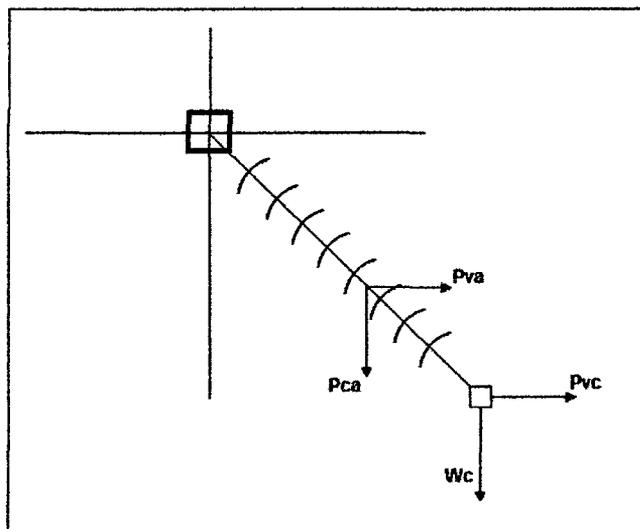


Fig. 12: Cadena de suspensión sometida a la acción del viento y cargas verticales

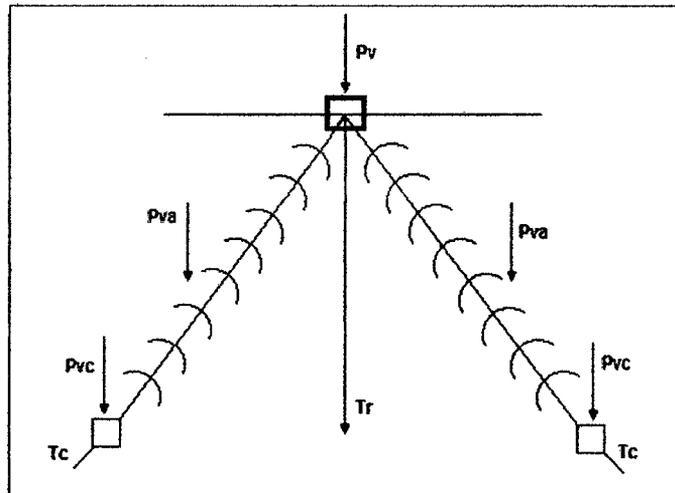


Fig. 13: Cadena de aisladores en ángulo sometida a la acción del viento

- **Aisladores en ángulo:** Los mayores efectos sobre las cadenas de aisladores se presentan cuando el viento se orienta según la bisectriz del ángulo.

La expresión para determinar el ángulo de desviación de la cadena de aisladores es la siguiente:

$$Tg\theta = \frac{2Tc \cdot \text{sen}(\beta/2) \pm P}{Wc + Pca/2} \quad 2.22$$

$$P = Pvc \cdot \text{Cos}\left(\frac{\beta}{2}\right) + Pva/2 \quad 2.23$$

Donde:

θ : Angulo de máxima oscilación

Tc : Tensión del conductor

Pvc : Presión del viento en los conductores

Pva: Presión del viento en los aisladores

Pca: Peso de la cadena de aisladores

W: Peso de los conductores

(+): Indica que la acción del viento tiene el mismo sentido de la resultante de la tensión mecánica del conductor.

β : Ángulo de desvío de la línea

Aisladores Anti fog: Otra forma para determinar el ángulo de oscilación de la cadena de aisladores, es la siguiente expresión simplificada:

$$Tg\theta = \frac{Pv \times d \times Vm}{P \times Vg} \quad 2.24$$

ó

$$Tg\theta = \frac{0.245 \times d \times Vm \times V}{P \times Vg} \quad 2.25$$

Donde:

Pv: Presión del viento (Kg/m²)

d: Diámetro del conductor (m)

P: Peso unitario del conductor (Kg/m)

Vm: Vano viento o eolovano (m)

Vg: Gravivano (m)

V: Velocidad del viento (Km/h)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales:

- Laptop Dual Core I3 (para procesamiento de datos)
- Libros
- Lapiceros
- Papel bond A4
- Separatas
- Internet

Métodos:

Método Descriptivo: Porque a través de este trabajo de investigación se examina uno de los problemas más comunes en el transporte de energía eléctrica y se investiga las causas y consecuencias, tanto técnicas como económicas que generan los parámetros de cálculo en el diseño de aislamiento de las líneas de transmisión.

Método Inductivo – Deductivo: Porque a través del presente trabajo, se analiza detalladamente los métodos de cálculo y los factores que intervienen en ellos; así como también nos permite disminuir las fallas que podría ocasionar una mala selección de los aislamientos en la líneas aéreas de alta tensión, optimizar materiales, recursos y costos.

IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.1 Cálculo de Aisladores y Costos de Líneas de Transmisión

Incidencia de la Polución:

- **Aisladores Normales:** Para el cálculo del Número de aisladores se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05, utilizando la expresión (2.4):

Ejemplo: Para una línea de transmisión de 138 kV, a 3000m.s.n.m. para una zona netamente agrícola con aisladores tipo B, clase 52-3, se tiene:

Longitud de fuga: $L_f = 29.2$ cm, tabla 05

Tensión máxima: $V_{\max} = 145$ kV, tabla 04

Grado de aislamiento; $G_a = 1.45$ cm/kV, tabla 02

Factor de corrección por altura: $f_h = 1.375$, tabla 03

Luego reemplazando en la expresión (2.4), tenemos:

$$N_a = \frac{\left(1.45 \frac{\text{cm}}{\text{kV}}\right) \times 145 \text{ kV} \times 1.375}{\sqrt{3} \times 29.2 \text{ cm}} = 5.71$$

Por lo tanto $N_a = 6$ aisladores

Los resultados se muestran en la tabla 20 y en los gráficos de las figuras 14 y 15.

Para analizar el costo del aislamiento se tomó como base los costos de suministros de los aisladores y accesorios que se indican en la tabla 18 sin considerar el costo de montaje, el cual varía según la zona de instalación de las líneas.

La evaluación de los costos en Líneas de Transmisión, generalmente se realiza a un kilómetro de línea instalada. En este trabajo, los costos de aislamiento, se estimaron a partir del número de cadenas de aisladores que deben instalarse por kilómetro de línea, teniendo en cuenta los vanos promedios recomendados para los diferentes niveles (ver tabla 19).

Tabla 18: Costo de aisladores estándar tipo 52-3 B

Material del aislador	Costo unitario del aislador (US\$/u)		Costo global de accesorios (US\$/gl)
	Normal	Anti fog	
Porcelana	35,65	49,72	36,80
Vidrio	25,79	34,75	31,84

Fuente: Costos Referenciales 2004 (variables)

Tabla 19: Valor promedio recomendado por diferentes Niveles de tensión

Tensión nominal (kV)	Vano promedio (m)	Nº de cadenas por Km de línea
60	200	5.00
138	320	3.125
220	400	2.5
380	450	2.25
500	500	2.00
725	500	2.00

Fuente: Líneas de Transporte de Energía – Luis María Checa

Los resultados se indican en la tabla 21 y en los gráficos de las figuras 16, 17 y 18 (diagrama de barras estadísticas).

Tabla 20: Número de aisladores normales en líneas de Transmisión para diferentes altitudes y niveles de tensión.

Tipo, Clase y Norma				Normal ANSI 52-3B				
Zona de Trabajo	Grado de aislamiento Ga	Tnominal (KV)	Tmax (KV)	Altitud (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000
Rural sin polución	1.15	60	72.5	2	2	3	3	3
		138	145	4	4	5	5	5
		220	245	6	7	7	8	9
		380	420	10	11	12	14	15
		500	525	12	14	15	17	18
		725	765	18	20	22	24	27
Agrícola sin polución	1.45	60	72.5	3	3	3	3	4
		138	145	5	5	6	6	7
		220	245	8	8	9	10	11
		380	420	13	14	16	17	19
		500	525	16	17	19	21	23
		725	765	22	25	28	31	33
Industrial Polución severa	1.75	60	72.5	3	3	4	4	4
		138	145	6	6	7	7	8
		220	245	9	10	11	12	13
		380	420	15	17	19	20	22
		500	525	19	21	23	25	28
		725	765	27	30	34	37	40
Industrial polución fuerte	2.55	60	72.5	4	5	5	6	6
		138	145	8	9	10	11	11
		220	245	13	14	16	17	19
		380	420	22	24	27	30	32
		500	525	27	30	34	37	40
		725	765	39	44	49	54	58
Borde del mar polución alta	2.95	60	72.5	5	5	6	6	7
		138	145	9	10	11	12	13
		220	245	15	17	18	20	22
		380	420	25	28	31	34	37
		500	525	31	35	39	43	46
		725	765	45	51	56	62	67

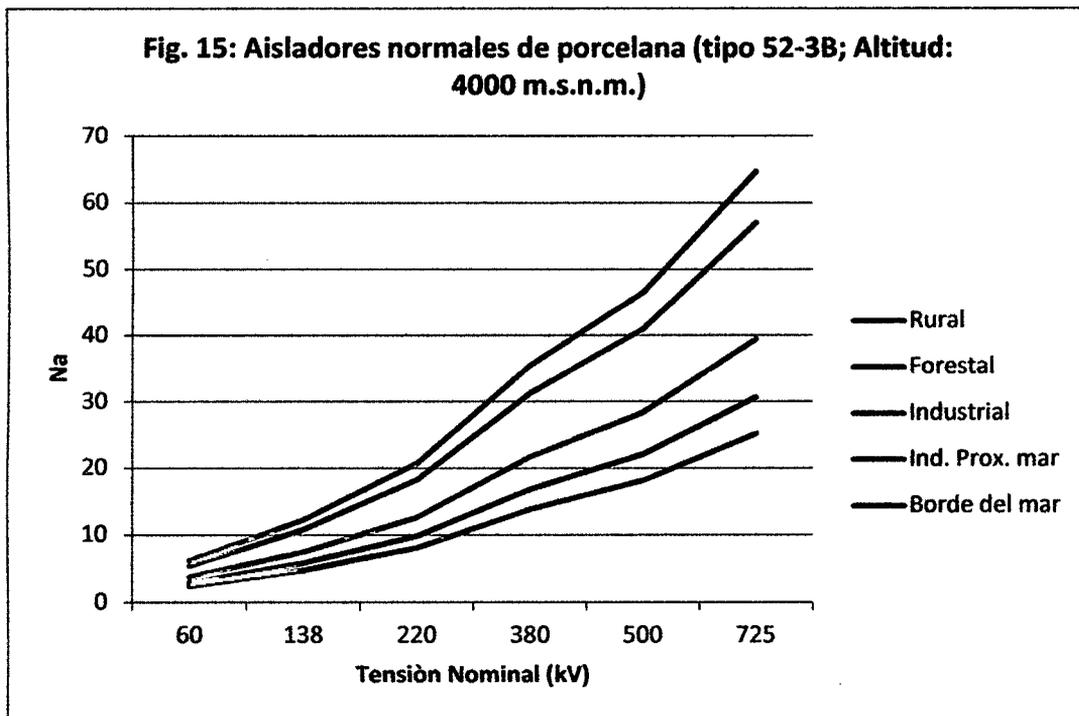
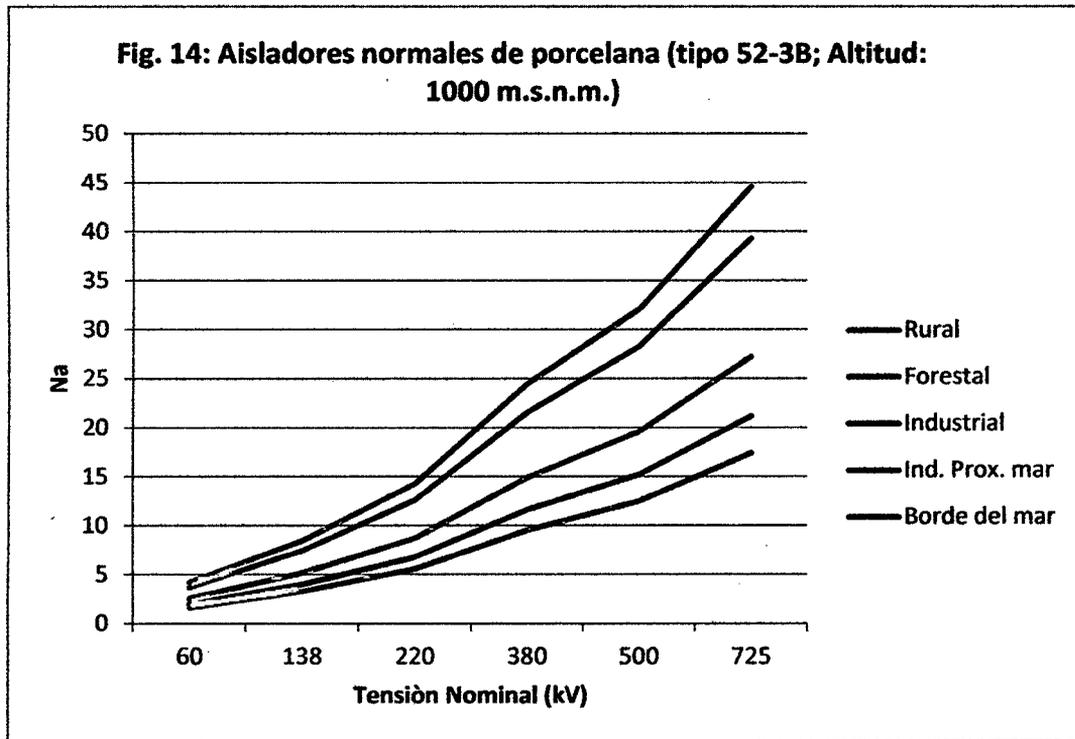
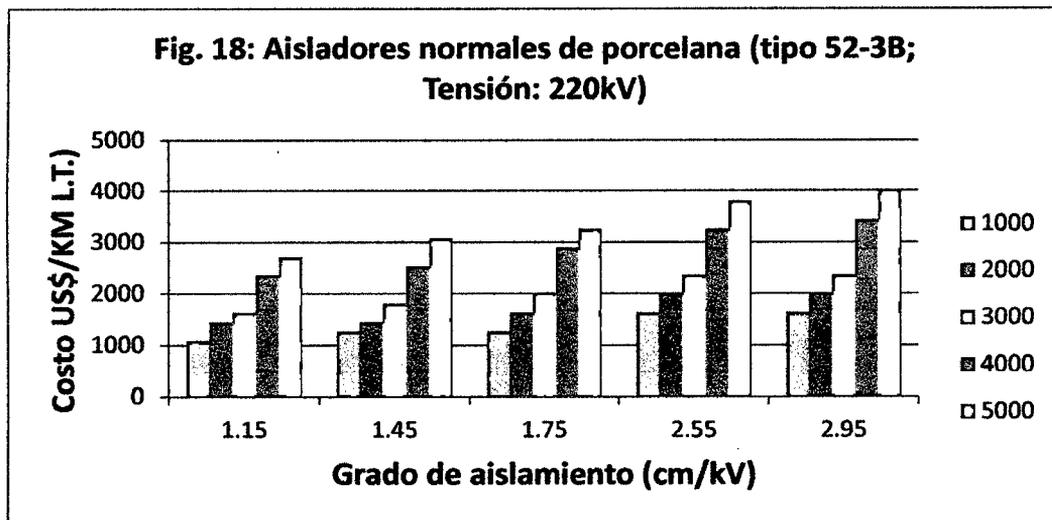
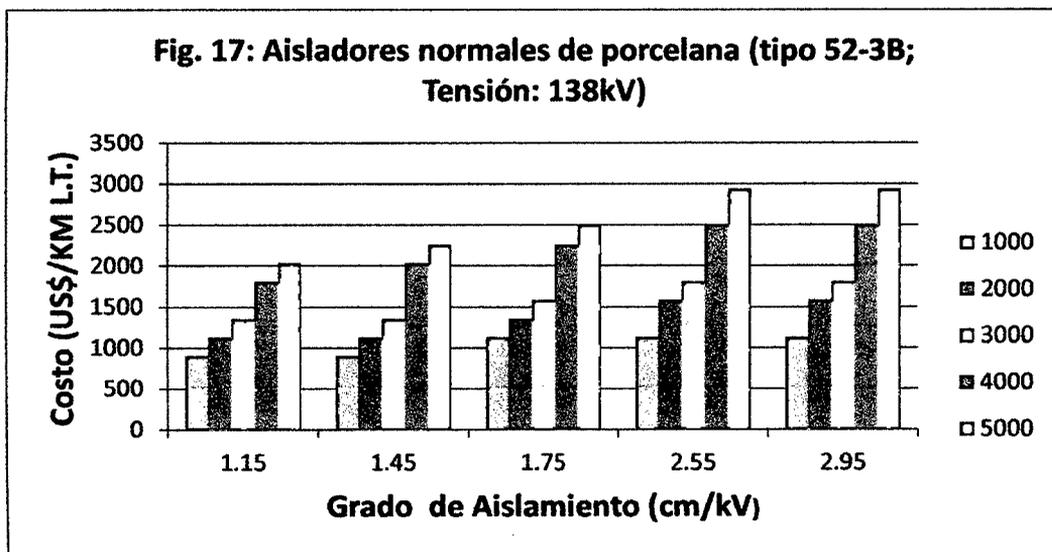
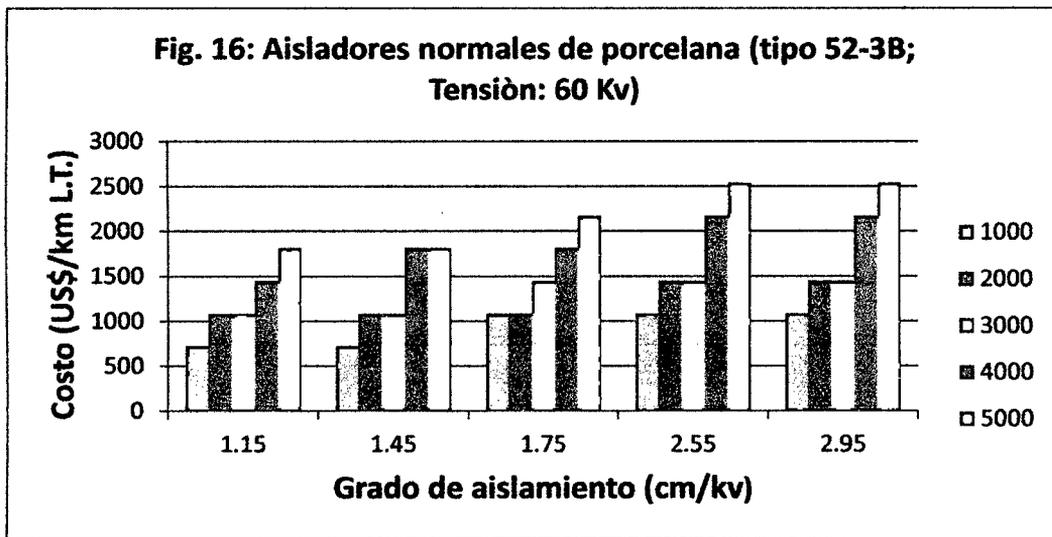


Tabla 21: Costos de aislador normal para diferente altitud y grado de polución.

Costo Unitario		Tnominal (KV)	Grado de aislamiento Ga	Costo USS/cadena					Costo Total USS/KM.L.T				
Aislador	Accesorios			Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
USS/U	USS/GL			1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
35.65	36.80	60	1.15	144.9	144.9	217.4	217.4	217.4	724.5	724.5	1087	1087	1087
			1.45	217.4	217.4	217.4	289.8	289.8	1087	1087	1087	1449	1449
			1.75	217.4	217.4	289.8	289.8	289.8	1087	1087	1449	1449	1449
			2.55	289.8	362.3	362.3	434.7	434.7	1449	1811	1811	2174	2174
			2.95	362.3	362.3	434.7	507.2	507.2	1811	1811	2174	2536	2536
35.65	36.80	138	1.15	289.8	289.8	362.3	362.3	362.3	905.6	905.6	1132	1132	1132
			1.45	362.3	362.3	434.7	507.2	507.2	1132	1132	1358	1585	1585
			1.75	434.7	434.7	507.2	579.6	579.6	1358	1358	1585	1811	1811
			2.55	579.6	652.1	724.5	797	797	1811	2038	2264	2490	2490
			2.95	652.1	724.5	797	941.9	941.9	2038	2264	2490	2943	2943
35.65	36.80	220	1.15	434.7	507.2	507.2	652.1	652.1	1087	1268	1268	1630	1630
			1.45	579.6	579.6	652.1	797	797	1449	1449	1630	1992	1992
			1.75	652.1	724.5	797	941.9	941.9	1630	1811	1992	2355	2355
			2.55	941.9	1014	1159	1304	1377	2355	2536	2898	3260	3441
			2.95	1087	1232	1304	1521	1594	2717	3079	3260	3804	3985
35.65	36.80	380	1.15	724.5	797	869.4	1014	1087	1608	1769	1930	2252	2413
			1.45	941.9	1014	1159	1304	1377	2091	2252	2573	2895	3056
			1.75	1087	1232	1377	1594	1594	2413	2734	3056	3538	3538
			2.55	1594	1739	1956	2246	2318	3538	3860	4343	4986	5147
			2.95	1811	2029	2246	2608	2681	4021	4503	4986	5790	5951
35.65	36.80	500	1.15	869.4	1014	1087	1304	1304	1739	2029	2174	2608	2608
			1.45	1159	1232	1377	1594	1666	2318	2463	2753	3188	3333
			1.75	1377	1521	1666	1956	2029	2753	3043	3333	3912	4057
			2.55	1956	2174	2463	2826	2898	3912	4347	4927	5651	5796
			2.95	2246	2536	2826	3260	3333	4492	5072	5651	6521	6665
35.65	36.80	725	1.15	1304	1449	1594	1884	1956	2608	2898	3188	3767	3912
			1.45	1594	1811	2029	2318	2391	3188	3623	4057	4637	4782
			1.75	1956	2174	2463	2826	2898	3912	4347	4927	5651	5796
			2.55	2826	3188	3550	4057	4202	5651	6376	7100	8114	8404
			2.95	3260	3695	4057	4709	4854	6521	7390	8114	9419	9708



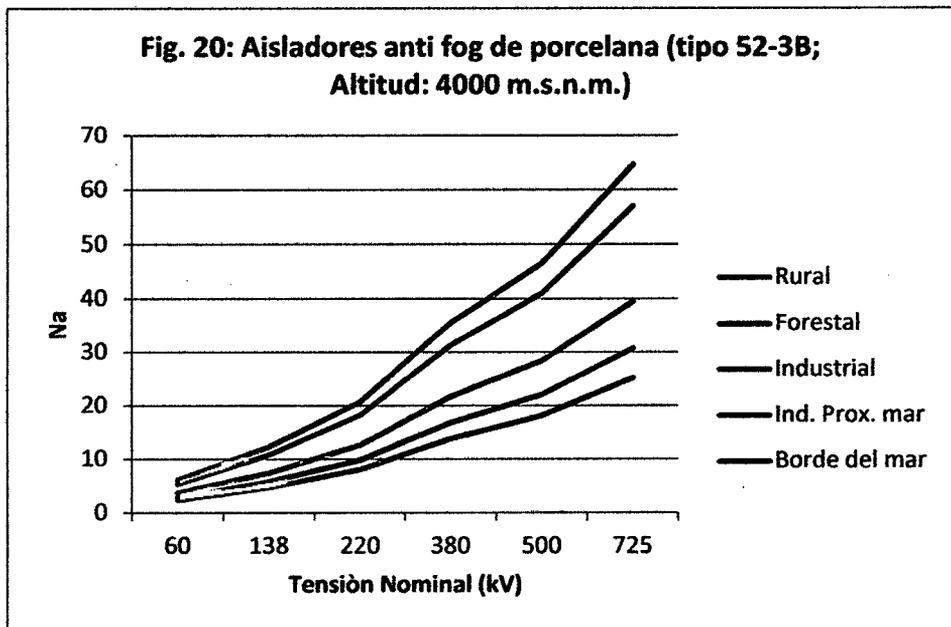
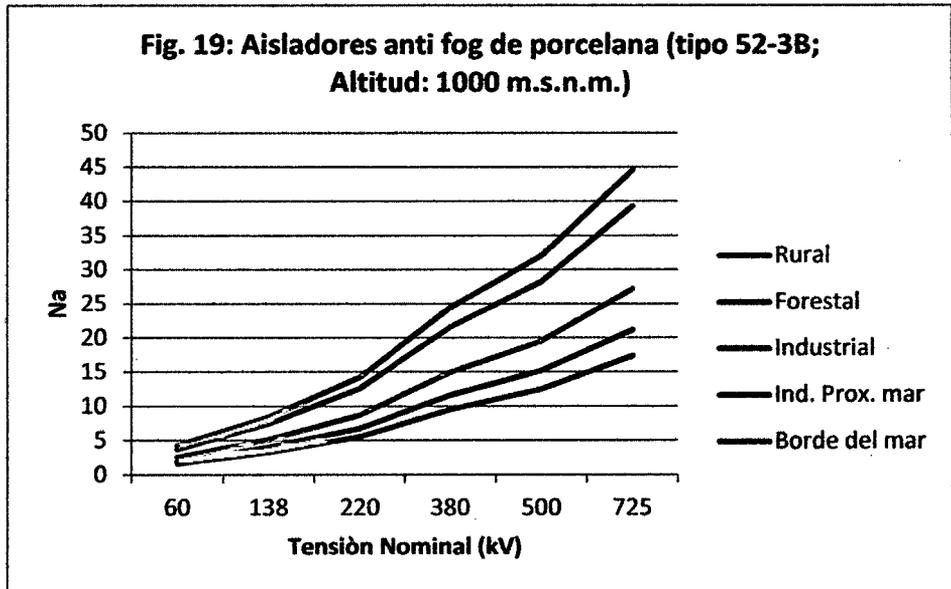
- **Aisladores Anti fog:** Para el cálculo de número de aisladores anti fog, se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05; utilizando la expresión (2.4), en forma similar al ejemplo anterior.

Los resultados se indican en la tabla 22 y en los gráficos de la figuras 19 y 20.

Tabla 22: Número de aisladores anti fog en líneas de Transmisión para diferentes altitudes y niveles de tensión.

Tipo, Clase y Norma				Anti-fog ANSI 52-3B y 52-5J					Anti-fog ANSI 52-8K				
Zona de Trabajo	Grado de aislamiento Ga	Tnominal (KV)	Tmax (KV)	Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
Rural sin polución	1.15	60	72.5	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
		138	145	3	3	3	4	4	2	3	3	3	3
		220	245	4	5	5	6	6	4	4	5	5	6
		380	420	7	8	9	10	10	6	7	8	9	9
		500	525	9	10	11	12	13	8	9	9	11	11
		725	765	12	14	15	18	18	11	12	14	16	16
Agrícola sin polución	1.45	60	72.5	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2
		138	145	3	4	4	5	5	3	3	4	4	4
		220	245	5	6	6	7	8	5	5	6	7	7
		380	420	9	10	11	12	13	8	9	10	11	11
		500	525	11	12	13	15	16	10	11	12	14	14
		725	765	15	17	19	22	23	14	15	17	20	20
Industrial Polución severa	1.75	60	72.5	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3
		138	145	4	4	5	5	6	4	4	4	5	5
		220	245	6	7	8	9	9	6	6	7	8	8
		380	420	10	12	13	15	15	9	10	11	13	14
		500	525	13	14	16	18	19	11	13	14	16	17
		725	765	18	21	23	26	27	16	18	20	23	24
Industrial polución fuerte	2.55	60	72.5	3	3	4	4	4	3	3	3	4	4
		138	145	5	6	7	8	8	5	5	6	7	7
		220	245	9	10	11	13	13	8	9	10	11	12
		380	420	15	17	18	21	22	13	15	16	19	20
		500	525	18	21	23	26	27	16	18	20	23	24
		725	765	27	30	33	38	40	24	26	29	34	35
Borde del mar	2.95	60	72.5	3	4	4	5	5	3	3	4	4	4
		138	145	6	7	8	9	9	6	6	7	8	8

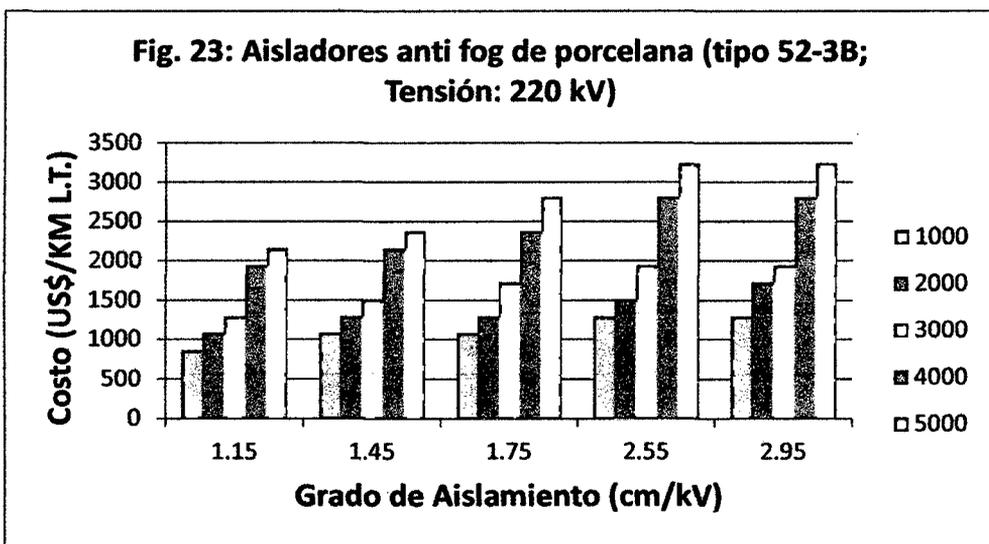
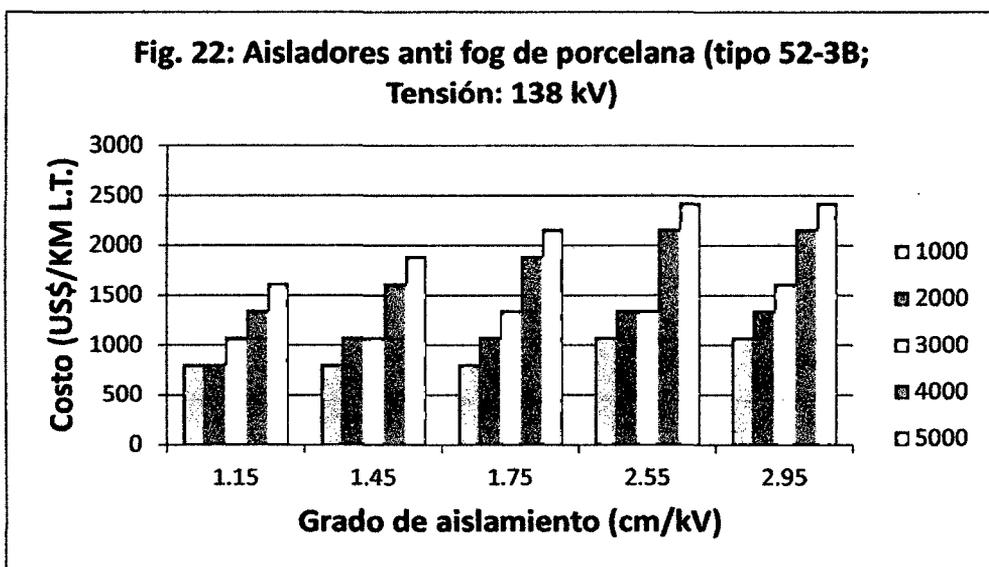
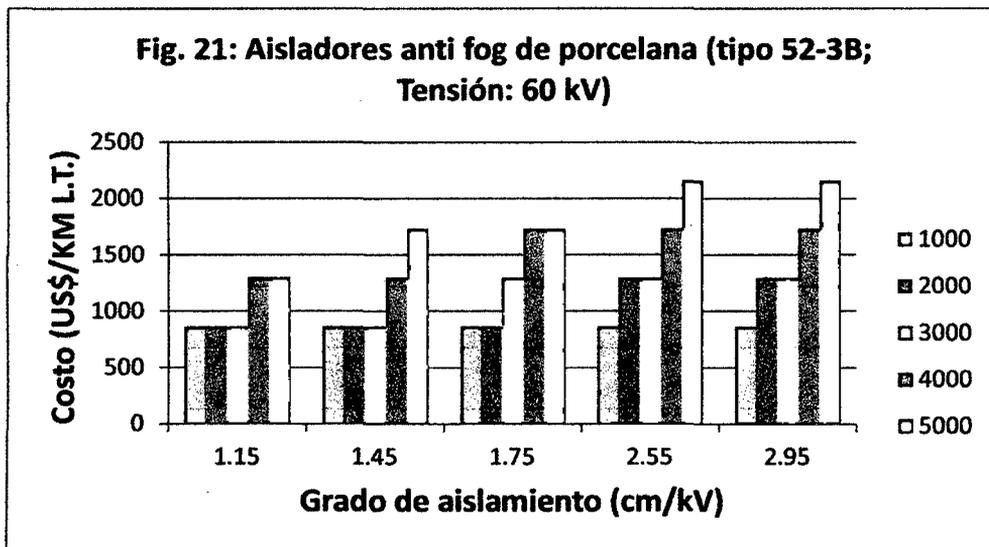
polución alta	220	245	10	11	13	15	15	9	10	11	13	13
	380	420	17	19	21	25	25	15	17	19	22	22
	500	525	21	24	26	31	32	19	21	23	27	28
	725	765	31	34	38	44	46	27	31	34	39	41



Se calcularon los costos siguiendo los pasos del ejemplo anterior y los resultados se indican en la tabla 23 y en los gráficos de las figuras 21, 22 y 23.

Tabla 23: Costo de aislador anti fog para diferentes altitudes y grado de polución.

Costo Unitario		Tnominal (KV)	Grado de aislamiento Ga	Costo US\$/cadena					Costo Total US\$/K.M.L.T				
Aislador	Accesorios			Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
US\$/U	US\$/GL			1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
49.62	36.80	60	1.15	173	173	173	173	173	865.2	865.2	865.2	865.2	865.2
			1.45	173	173	173	259.6	259.6	865.2	865.2	865.2	1298	1298
			1.75	173	173	259.6	259.6	259.6	865.2	865.2	1298	1298	1298
			2.55	259.6	259.6	346.1	346.1	346.1	1298	1298	1730	1730	1730
			2.95	259.6	346.1	346.1	432.6	432.6	1298	1730	1730	2163	2163
49.62	36.80	138	1.15	259.6	259.6	259.6	346.1	346.1	811.1	811.1	811.1	1082	1082
			1.45	259.6	346.1	346.1	432.6	432.6	811.1	1082	1082	1352	1352
			1.75	346.1	346.1	432.6	432.6	519.1	1082	1082	1352	1352	1622
			2.55	432.6	519.1	605.6	692.2	692.2	1352	1622	1893	2163	2163
			2.95	519.1	605.6	692.2	778.7	778.7	1622	1893	2163	2433	2433
49.62	36.80	220	1.15	346.1	432.6	432.6	519.1	519.1	865.2	1082	1082	1298	1298
			1.45	432.6	519.1	519.1	605.6	692.2	1082	1298	1298	1514	1730
			1.75	519.1	605.6	692.2	778.7	778.7	1298	1514	1730	1947	1947
			2.55	778.7	865.2	951.7	1125	1125	1947	2163	2379	2812	2812
			2.95	865.2	951.7	1125	1298	1298	2163	2379	2812	3245	3245
49.62	36.80	380	1.15	605.6	692.2	778.7	865.2	865.2	1345	1537	1729	1921	1921
			1.45	778.7	865.2	951.7	1038	1125	1729	1921	2113	2305	2497
			1.75	519.1	605.6	692.2	778.7	778.7	1152	1345	1537	1729	1729
			2.55	1298	1471	1557	1817	1903	2881	3265	3457	4034	4226
			2.95	1471	1644	1817	2163	2163	3265	3649	4034	4802	4802
49.62	36.80	500	1.15	778.7	865.2	951.7	1038	1125	1557	1730	1903	2076	2250
			1.45	951.7	1038	1125	1298	1384	1903	2076	2250	2596	2769
			1.75	865.2	1038	1125	1298	1298	1730	2076	2250	2596	2596
			2.55	1557	1817	1990	2250	2336	3115	3634	3980	4499	4672
			2.95	1817	2076	2250	2682	2769	3634	4153	4499	5364	5537
49.62	36.80	725	1.15	1038	1211	1298	1557	1557	2076	2423	2596	3115	3115
			1.45	1298	1471	1644	1903	1990	2596	2942	3288	3807	3980
			1.75	1125	1211	1384	1557	1644	2250	2423	2769	3115	3288
			2.55	2336	2596	2855	3288	3461	4672	5191	5710	6576	6922
			2.95	2682	2942	3288	3807	3980	5364	5883	6576	7614	7960



- **Otros tipo de aisladores:** Para este caso, se utilizaron los aislamientos que se indican en la tabla 06; utilizando la expresión (2.4), en forma similar al ejemplo desarrollado con los aisladores normales.

Los resultados se indican en la tabla 24 y en los gráficos de las figuras 24 y 25.

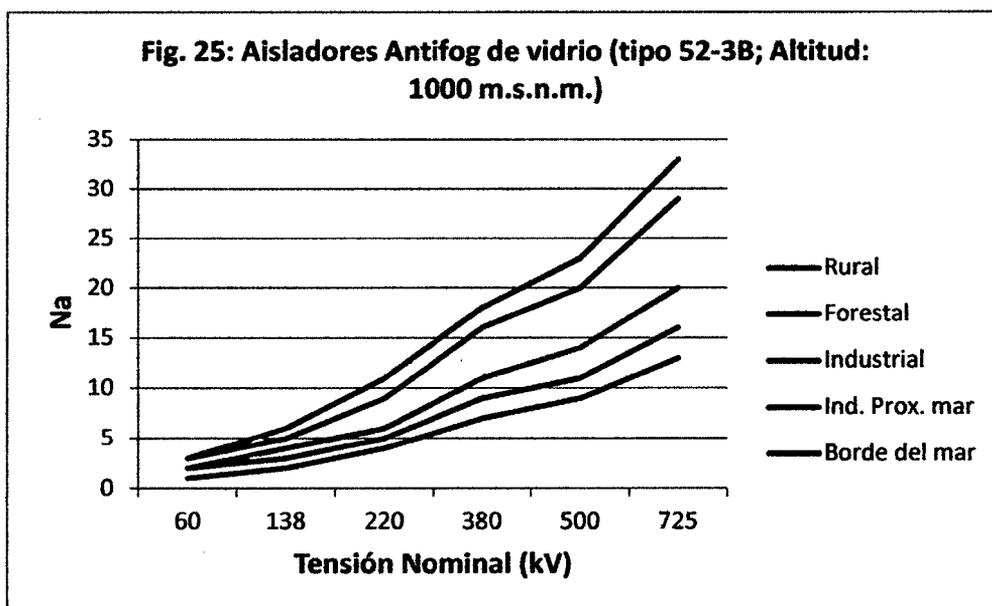
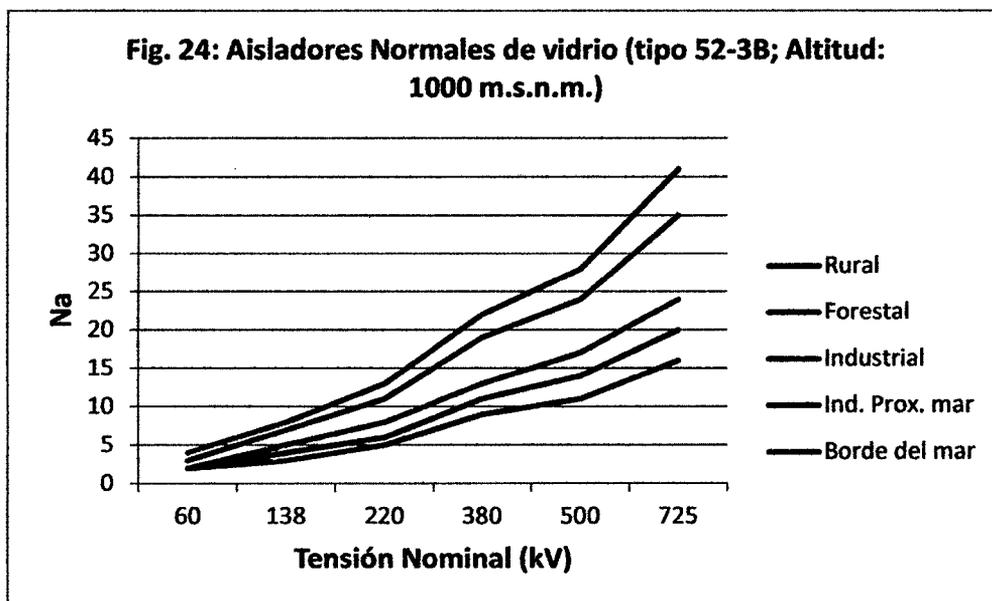


Tabla 24: Número de aisladores de vidrio en Líneas de Transmisión para diferentes altitudes y niveles de tensión.

Tipo, Clase y Norma				Normal ANSI 52-3B y 52-5J					ANTIFOG ANSI 52-3B y 52-5J				
Zona de Trabajo	Grado de aislamiento Ga	Tnominal (KV)	Tmax (KV)	Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
Rural sin polución	1.15	60	72.5	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2
		138	145	3	3	3	4	4	2	2	3	3	3
		220	245	4	5	5	6	6	3	4	4	5	5
		380	420	7	8	9	10	10	6	6	7	8	8
		500	525	9	10	11	12	13	7	8	8	10	10
Agrícola sin polución	1.45	60	72.5	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2
		138	145	3	4	4	5	5	3	3	3	4	4
		220	245	5	6	6	7	8	4	5	5	6	6
		380	420	9	10	11	12	13	7	8	8	10	10
		500	525	11	12	13	15	16	8	9	10	12	12
Industrial Polución severa	1.75	60	72.5	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2
		138	145	4	4	5	5	6	3	3	4	4	4
		220	245	6	7	8	9	9	5	6	6	7	7
		380	420	10	12	13	15	15	8	9	10	12	12
		500	525	13	14	16	18	19	10	11	13	14	15
Industrial polución fuerte	2.55	60	72.5	3	3	4	4	4	2	3	3	3	3
		138	145	5	6	7	8	8	4	5	5	6	6
		220	245	9	10	11	13	13	7	8	9	10	10
		380	420	15	17	18	21	22	12	13	15	17	17
		500	525	18	21	23	26	27	15	16	18	21	22
Borde del mar polución alta	2.95	60	72.5	3	4	4	5	5	3	3	3	4	4
		138	145	6	7	8	9	9	5	6	6	7	7
		220	245	10	11	13	15	15	8	9	10	12	12
		380	420	17	19	21	25	25	14	15	17	19	20
		500	525	21	24	26	31	32	17	19	21	24	25
		725	765	31	34	38	44	46	24	27	30	35	36

En forma similar al ejemplo anterior, la evaluación de los costos se indica en la tabla 25 y en los gráficos de las figuras 26 y 27.

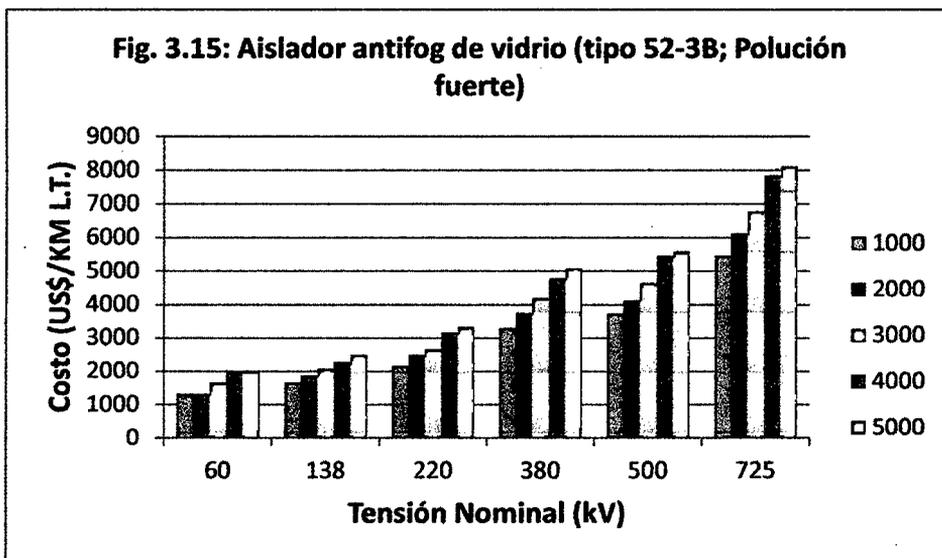
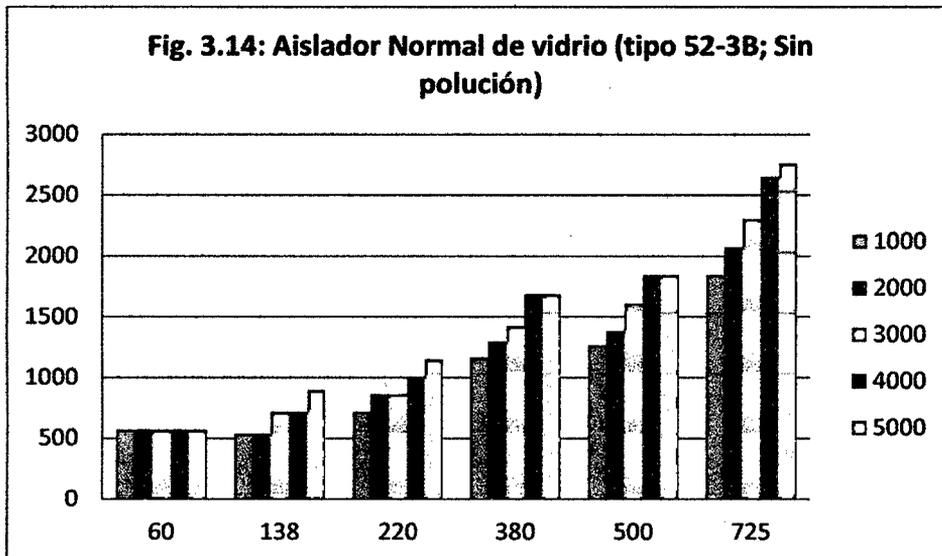


Tabla 25: Costo de aislador de vidrio en L.T. para diferentes altitudes y Niveles de tensión.

COSTO				Aisladores normales (US\$/cadena)					Aisladores normales/KM L.T.				
Zona de trabajo	Costo Aislador	Costo Accesorios	Tnominal (KV)	Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
	US\$/U	US\$/GL		1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
Sin polución	25.79	31.84	60	115.3	115.3	115.3	115.3	115.3	576.5	576.5	576.5	576.5	576.5
			138	172.9	172.9	230.5	230.5	288.2	540.3	540.3	720.3	720.3	900.6
			220	288.2	345.8	345.8	403.4	461	720.5	864.5	864.5	1008.5	1152.5
			380	518.7	576.3	633.9	749.2	749.2	1167.1	1296.7	1426.3	1685.7	1685.7
			500	633.9	691.6	806.8	922.1	922.1	1267.8	1383.2	1613.6	1844.2	1844.2
			725	922.1	1037.3	1152.6	1325.5	1383.1	1844.2	2074.6	2305.2	2651	2766.2
COSTO				Aisladores antiflog (US\$/cadena)					Aisladores antiflog/KM L.T.				
Zona de trabajo	Costo Aislador	Costo Accesorios	Tnominal (KV)	Altitud (m.s.n.m.)					Altitud (m.s.n.m.)				
	US\$/U	US\$/GL		1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000
Polución fuerte	34.75	31.84	60	266.4	266.4	333	399.5	399.5	1332	1332	1665	1997.5	1997.5
			138	532.7	599.3	665.9	732.5	799.1	1664.7	1872.8	2080.9	2289.1	2497.2
			220	865.7	998.9	1065.4	1265.2	1331.8	2164.3	2497.3	2663.5	3163	3329.5
			380	1465	1664.8	1864.5	2130.9	2264.1	3296.3	3745.8	4195.1	4794.5	5094.2
			500	1864.5	2064.3	2330.7	2730.2	2796.8	3729	4128.6	4661.4	5460.4	5593.6
			725	2730.2	3063.1	3396.1	3928.8	4062	5460.4	6126.2	6792.2	7857.6	8124

Efecto del Depósito Equivalente de sal:

- **Aisladores Normales:** Se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05.

Ejemplo de cálculo: Para una línea de transmisión de 138 kV, a 3000 m.s.n.m., para una zona de fundición de metales, con aisladores tipo B, clase 52-3, se tiene:

Tensión máxima: 145kV, tabla 04.

Factor de corrección por altura: $f_h = 1.25$, tabla 03.

Factor de sobretensión de la red: $f_n = 1.10$ (asumido)

Tensión de sostenimiento unitario: $E_s = 11.40$ kV/u, tabla 08.

Densidad de depósito: $d_e = 0.2 \text{ mg/cm}^2 \text{ NaCl}$

En la expresión (2.6), para sobretensiones a frecuencia industrial se tiene:

$$N_a = \frac{145 \times 1.25 \times 1.10}{\sqrt{3} \times 11.40} = 10.1$$

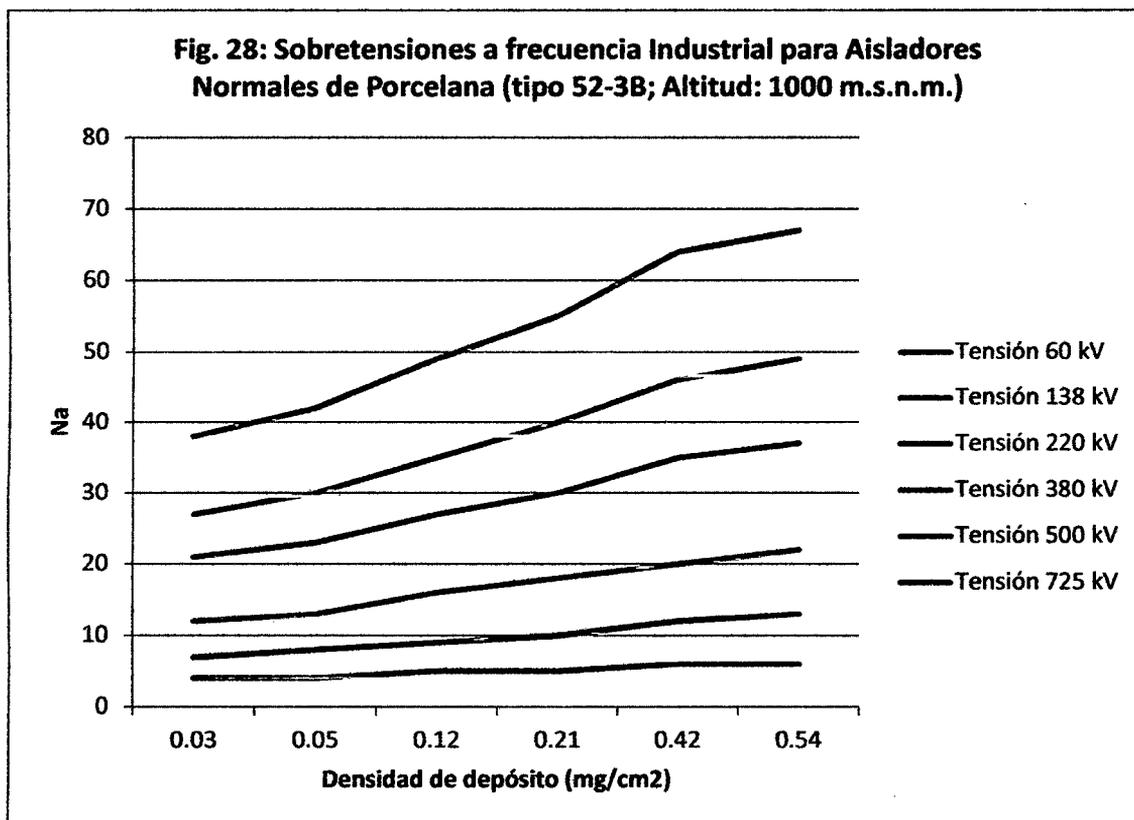
Luego: $N_a = 11$ aisladores

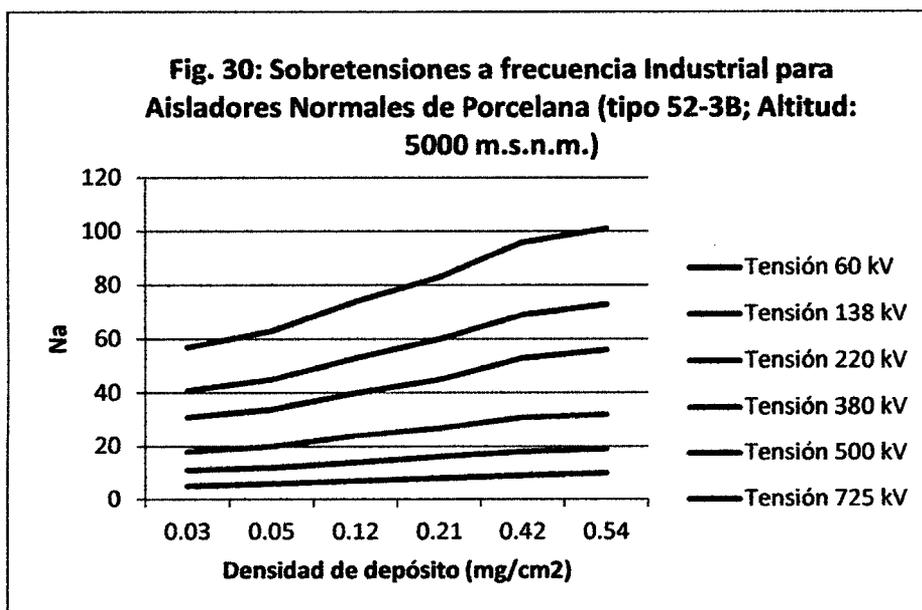
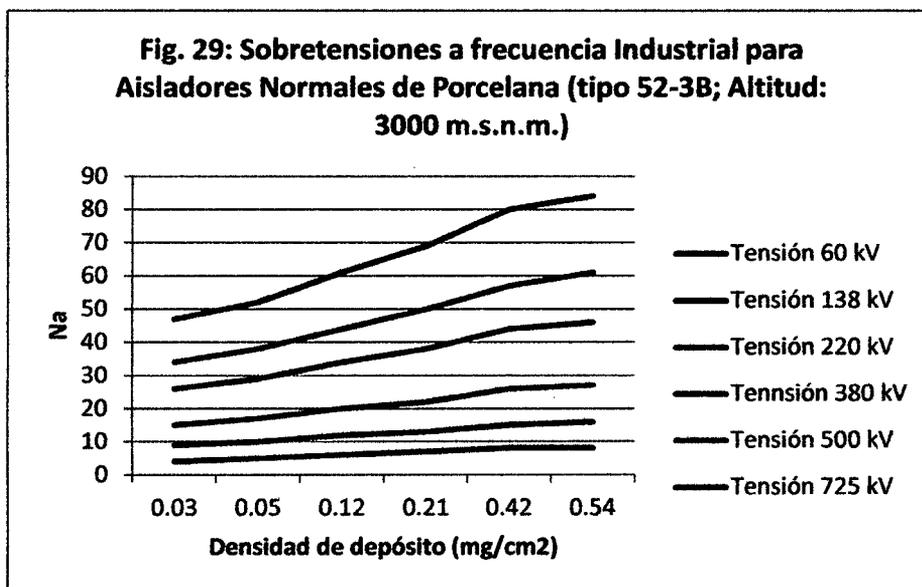
El procedimiento de cálculo para otras condiciones, es similar y los resultados se indican en la tabla 26 y en los gráficos de las figuras 28, 29 y 30.

Tabla 26: Número de aisladores normales en L.T. cuando varía el depósito equivalente de Sal.

TIPO DE SOBRETENSION CLASE Y NORMA			AFRECUENCIA INDUSTRIAL ANSI 52-3 B					POR MANIOBRA ANSI 52-3B						
TENSION NOMINAL (KV.)	ZONA DE CONTAM.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm ²)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	LIGERA	0.03	12.8	4	4	5	5	5	36	5	5	6	6	7
	MODERADA	0.05	11.6	4	5	5	6	6	30	5	6	7	8	8
	MEDIA	0.12	9.9	5	5	6	7	7	23.5	7	7	8	9	10
	SEVERA	0.21	8.8	5	6	6	7	8	22	7	8	9	10	10
	ALTA	0.42	7.6	6	7	7	8	9	20	8	9	10	11	11
	MUY ALTA	0.54	7.2	6	7	8	9	9	18	9	10	11	12	13
138	LIGERA	0.03	12.8	7	8	9	10	11	36	9	10	11	13	14
	MODERADA	0.05	11.6	8	9	10	11	12	30	11	12	14	16	16
	MEDIA	0.12	9.9	9	10	12	13	14	23.5	14	16	17	20	21
	SEVERA	0.21	8.8	10	12	13	15	15	22	15	17	18	21	22
	ALTA	0.42	7.6	12	13	15	17	18	20	16	18	20	23	24
	MUY ALTA	0.54	7.2	13	14	16	18	19	18	18	20	22	26	27
220	LIGERA	0.03	12.8	11	13	14	16	17	36	14	16	18	21	21
	MODERADA	0.05	11.6	13	14	16	18	19	30	17	19	21	25	25
	MEDIA	0.12	9.9	15	16	18	21	22	23.5	22	24	27	31	32
	SEVERA	0.21	8.8	16	18	20	24	24	22	23	26	29	33	35
	ALTA	0.42	7.6	19	21	23	27	28	20	25	29	32	37	38
	MUY ALTA	0.54	7.2	20	22	25	29	30	18	28	32	35	41	42
380	LIGERA	0.03	12.8	19	22	24	28	29	36	21	24	27	31	32

	MODERADA	0.05	11.6	21	24	27	31	32	30	26	29	32	37	38
	MEDIA	0.12	9.9	25	28	31	36	37	23.5	33	37	41	47	49
	SEVERA	0.21	8.8	28	31	35	40	42	22	35	39	43	50	52
	ALTA	0.42	7.6	32	36	40	47	48	20	38	43	48	55	57
	MUY ALTA	0.54	7.2	34	38	42	49	51	18	42	48	53	61	63
500	LIGERA	0.03	12.8	25	28	32	36	38	36	25	29	32	37	38
	MODERADA	0.05	11.6	28	31	35	40	42	30	30	34	38	44	45
	MEDIA	0.12	9.9	33	37	41	47	49	23.5	39	43	48	56	58
	SEVERA	0.21	8.8	37	41	46	53	55	22	41	46	52	60	62
	ALTA	0.42	7.6	42	48	53	61	63	20	45	51	57	66	68
	MUY ALTA	0.54	7.2	45	50	56	64	67	18	50	57	63	73	75
725	LIGERA	0.03	12.8	35	40	44	51	53	36	31	35	38	45	46
	MODERADA	0.05	11.6	39	44	48	56	58	30	37	41	46	53	55
	MEDIA	0.12	9.9	45	51	57	66	68	23.5	47	53	59	68	70
	SEVERA	0.21	8.8	51	57	64	74	76	22	50	56	63	73	75
	ALTA	0.42	7.6	59	66	74	85	88	20	55	62	69	80	82
	MUY ALTA	0.54	7.2	62	70	78	90	93	18	61	69	76	89	92



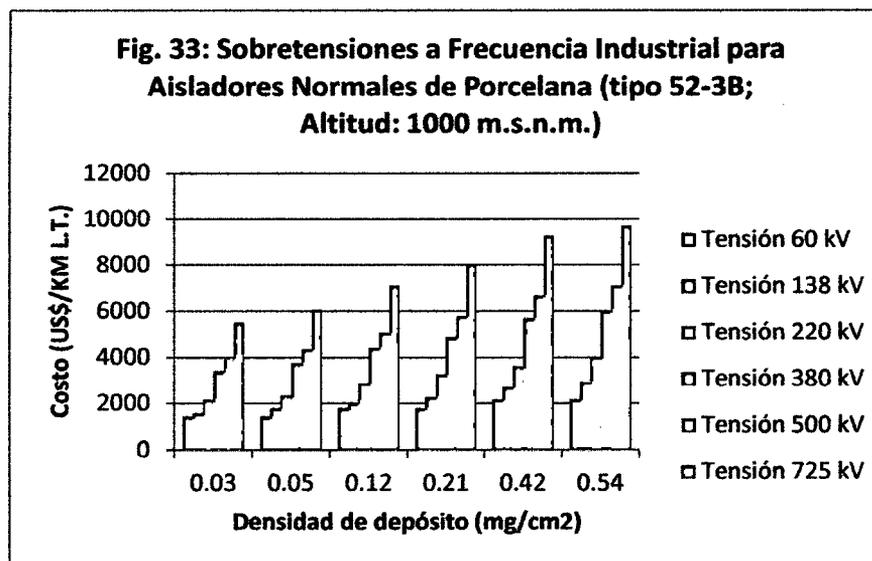
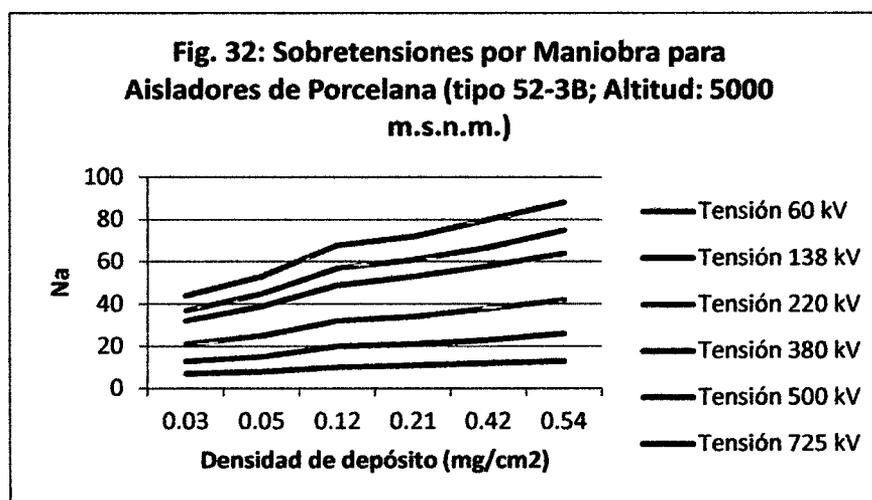
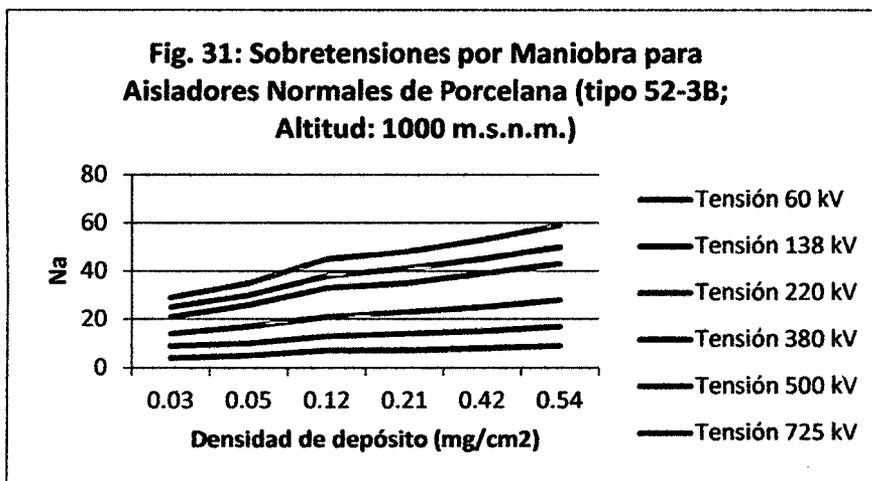


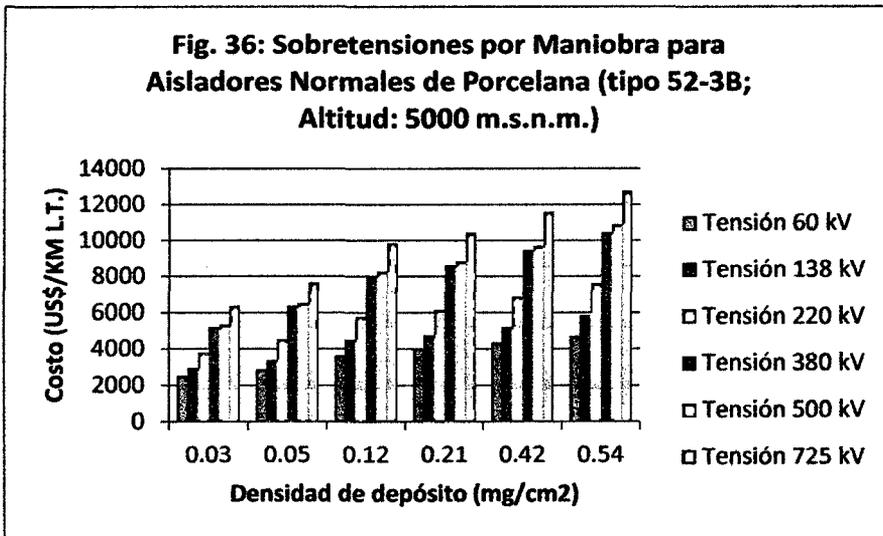
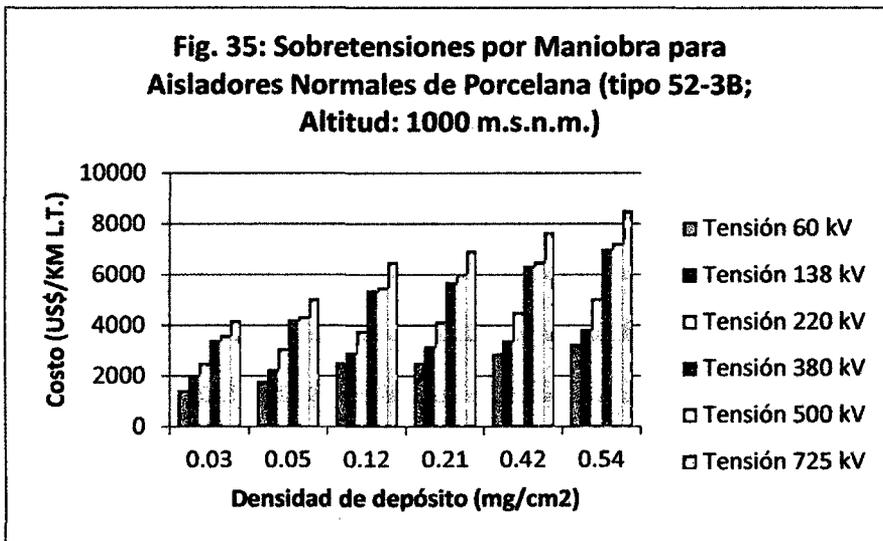
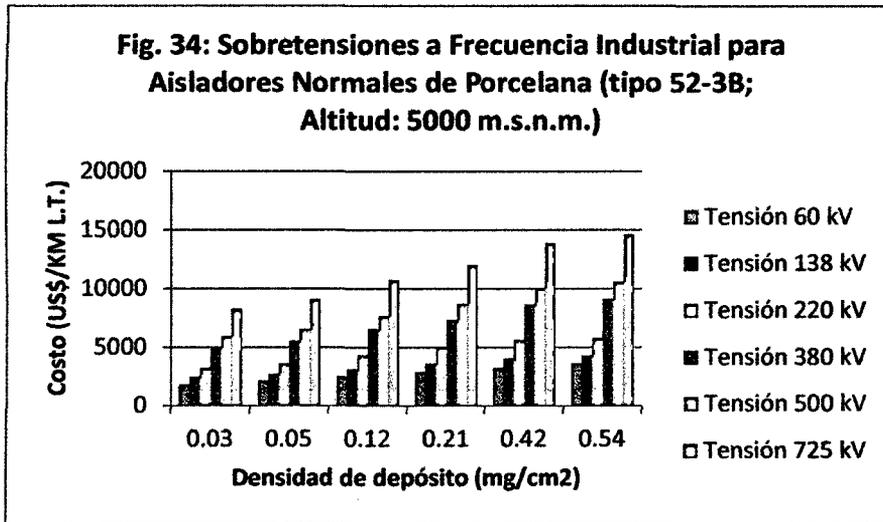
De igual manera, para sobretensiones por maniobra, de la expresión (2.7) y de la tabla 09, se obtienen los resultados que se indican en la tabla 26 y en los gráficos de las figuras 31 y 32.

La evaluación de los costos, se realizará a partir de las tablas 18 y 19, los resultados se indican en la tabla 27 y en los gráficos de las figuras 33, 34, 35 y 36.

Tabla 27: Costo de aisladores normales en L.T. cuando varía el depósito equivalente de sal.

TIPO DE SOBRETENSION COSTO			A FRECUENCIA INDUSTRIAL UU\$/K.M.L.T.						POR MANIOBRA UU\$/K.M.L.T.					
TENSION NOMINAL (KV.)	C.U. AISL. US\$/U.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm ²)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	72.45	0.03	12.8	1453	1453	1817	1817	1817	36	1817	1817	2180	2180	2543
		0.05	11.6	1453	1817	1817	2180	2180	30	1817	2180	2543	2906	2906
		0.12	9.9	1817	1817	2180	2543	2543	23.5	2543	2543	2906	3270	3633
		0.21	8.8	1817	2180	2180	2543	2906	22	2543	2906	3270	3633	3633
		0.42	7.6	2180	2543	2543	2906	3270	20	2906	3270	3633	3996	3996
		0.54	7.2	2180	2543	2906	3270	3270	18	3270	3633	3996	4360	4723
138	72.45	0.03	12.8	1589	1817	2044	2271	2498	36	2044	2271	2498	2952	3179
		0.05	11.6	1817	2044	2271	2498	2725	30	2498	2725	3179	3633	3633
		0.12	9.9	2044	2271	2725	2952	3179	23.5	3179	3633	3860	4541	4768
		0.21	8.8	2271	2725	2952	3406	3406	22	3406	3860	4087	4768	4995
		0.42	7.6	2725	2952	3406	3860	4087	20	3633	4087	4541	5222	5450
		0.54	7.2	2952	3179	3633	4087	4314	18	4087	4541	4995	5904	6131
220	72.45	0.03	12.8	1998	2361	2543	2906	3088	36	2543	2906	3270	3815	3815
		0.05	11.6	2361	2543	2906	3270	3451	30	3088	3451	3815	4541	4541
		0.12	9.9	2725	2906	3270	3815	3996	23.5	3996	4360	4905	5631	5813
		0.21	8.8	2906	3270	3633	4360	4360	22	4178	4723	5268	5994	6358
		0.42	7.6	3451	3815	4178	4905	5086	20	4541	5268	5813	6721	6903
		0.54	7.2	3633	3996	4541	5268	5450	18	5086	5813	6358	7448	7629
380	72.45	0.03	12.8	3106	3597	3924	4578	4741	36	3433	3924	4414	5068	5232
		0.05	11.6	3433	3924	4414	5068	5232	30	4251	4741	5232	6049	6212
		0.12	9.9	4087	4578	5068	5885	6049	23.5	5395	6049	6703	7684	8011
		0.21	8.8	4578	5068	5722	6539	6866	22	5722	6376	7030	8174	8501
		0.42	7.6	5232	5885	6539	7684	7847	20	6212	7030	7847	8992	9319
		0.54	7.2	5558	6212	6866	8011	8338	18	6866	7847	8665	9973	10300
500	72.45	0.03	12.8	3633	4069	4650	5232	5522	36	3633	4214	4650	5377	5522
		0.05	11.6	4069	4505	5086	5813	6103	30	4360	4941	5522	6394	6539
		0.12	9.9	4796	5377	5958	6830	7121	23.5	5667	6249	6975	8138	8429
		0.21	8.8	5377	5958	6685	7702	7993	22	5958	6685	7557	8719	9010
		0.42	7.6	6103	6975	7702	8865	9155	20	6539	7411	8283	9591	9882
		0.54	7.2	6539	7266	8132	9300	9736	18	7266	8283	9155	10608	10899
725	72.45	0.03	12.8	5086	5813	6394	7411	7702	36	4505	5086	5522	6539	6685
		0.05	11.6	5667	6394	6975	8138	8429	30	5377	5958	6685	7702	7993
		0.12	9.9	6539	7411	8283	9591	9882	23.5	6830	7702	8574	9882	10172
		0.21	8.8	7411	8283	9300	10754	11044	22	7266	8138	9155	10608	10899
		0.42	7.6	8574	9591	10754	12352	12788	20	7993	9010	10027	11626	11916
		0.54	7.2	9010	10172	11335	13079	13515	18	8865	10027	11044	12933	13369





- **Aisladores Anti fog:** Para el cálculo del número de aisladores se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05, utilizando la expresión (2.6) con la tabla 08, para sobretensiones a frecuencia industrial y la expresión (2.7), con la tabla 09, para sobretensiones por maniobra.

Los resultados se indican en la tabla 28 y en los gráficos de las figuras 37, 38, 39 y 40.

Tabla 28: Número de aisladores anti fog en L.T. cuando varía el depósito equivalente de Sal.

TIPO DE SOBRETENSION CLASE Y NORMA			AFRECUENCIA INDUSTRIAL ANSI 52-3 B					POR MANIOBRA ANSI 52-3B						
TENSION NOMINAL (KV.)	ZONA DE CONTAM.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm ²)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	LIGERA	0.03	17	3	3	4	4	4	52	3	4	4	5	5
	MODERADA	0.05	15	3	4	4	5	5	46	4	4	4	5	5
	MEDIA	0.12	12.9	4	4	5	5	5	40	4	5	5	6	6
	SEVERA	0.21	11.4	4	5	5	6	6	36	5	5	6	6	7
	ALTA	0.42	9.9	5	5	6	7	7	33	5	5	6	7	7
	MUY ALTA	0.54	8.5	5	6	7	8	8	31	5	6	6	7	8
138	LIGERA	0.03	17	6	6	7	8	8	52	7	7	8	9	10
	MODERADA	0.05	15	6	7	8	9	9	46	7	8	9	10	11
	MEDIA	0.12	12.9	7	8	9	10	11	40	8	9	10	12	12
	SEVERA	0.21	11.4	8	9	10	12	12	36	9	10	11	13	14
	ALTA	0.42	9.9	9	10	12	13	14	33	10	11	12	14	15
	MUY ALTA	0.54	8.5	11	12	13	15	16	31	11	12	13	15	16
220	LIGERA	0.03	17	9	10	11	12	13	52	10	11	13	14	15
	MODERADA	0.05	15	10	11	12	14	14	46	11	13	14	16	17
	MEDIA	0.12	12.9	11	13	14	16	17	40	13	15	16	19	19
	SEVERA	0.21	11.4	13	14	16	18	19	36	14	16	18	21	21
	ALTA	0.42	9.9	15	16	18	21	22	33	16	18	19	22	23
	MUY ALTA	0.54	8.5	17	19	21	24	25	31	17	19	21	24	25
380	LIGERA	0.03	17	15	16	18	21	22	52	15	17	19	22	22
	MODERADA	0.05	15	17	19	21	24	25	46	17	19	21	24	25
	MEDIA	0.12	12.9	19	22	24	28	29	40	19	22	24	28	29
	SEVERA	0.21	11.4	22	24	27	31	32	36	21	24	27	31	32
	ALTA	0.42	9.9	25	28	31	36	37	33	23	26	29	34	35
	MUY ALTA	0.54	8.5	29	32	36	42	43	31	25	28	31	36	37

500	LIGERA	0.03	17	19	22	24	28	29	52	18	20	22	26	26
	MODERADA	0.05	15	22	24	27	31	32	46	20	22	25	29	30
	MEDIA	0.12	12.9	25	28	31	36	37	40	23	26	29	33	34
	SEVERA	0.21	11.4	28	32	35	41	42	36	25	29	32	37	38
	ALTA	0.42	9.9	33	37	41	47	49	33	28	31	35	40	41
	MUY ALTA	0.54	8.5	38	43	47	55	57	31	29	33	37	42	44
725	LIGERA	0.03	17	27	30	33	38	40	52	22	24	27	31	32
	MODERADA	0.05	15	30	34	38	43	45	46	24	27	30	35	36
	MEDIA	0.12	12.9	35	39	44	50	52	40	28	31	35	40	41
	SEVERA	0.21	11.4	39	44	49	57	59	36	31	35	38	45	46
	ALTA	0.42	9.9	45	51	57	66	68	33	34	38	42	49	50
	MUY ALTA	0.54	8.5	53	59	66	76	79	31	36	40	45	52	53

Fig. 37: Sobretensiones a Frecuencia Industrial para Aisladores Anti fog (tipo 52-3B; Altitud: 1000 m.s.n.m.)

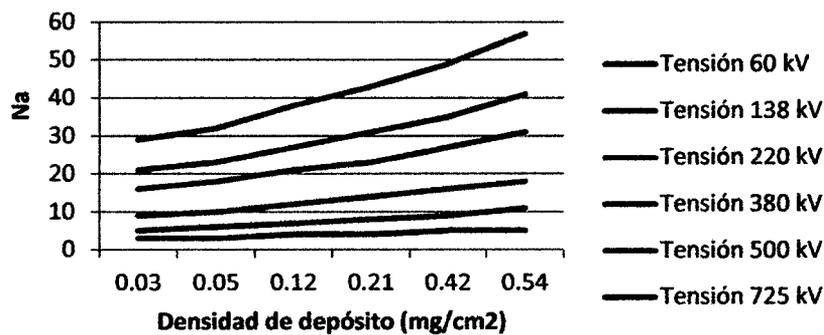
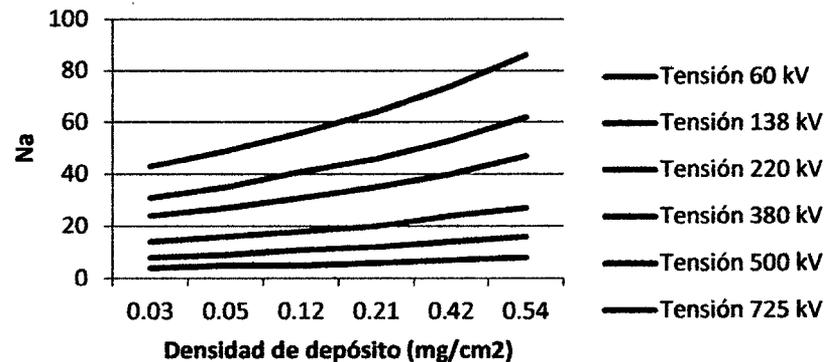
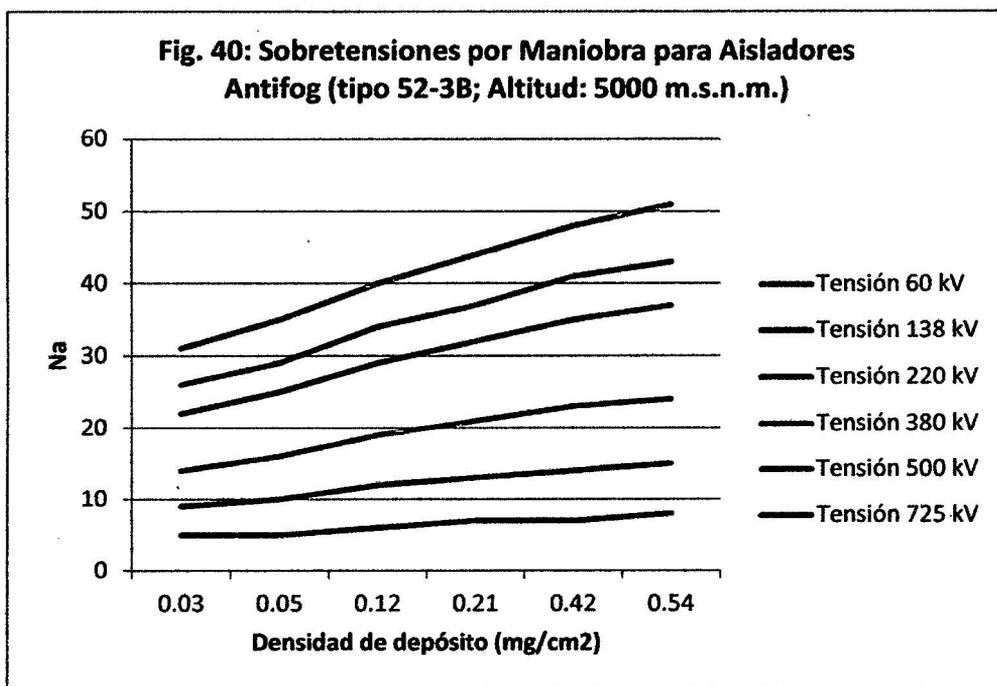
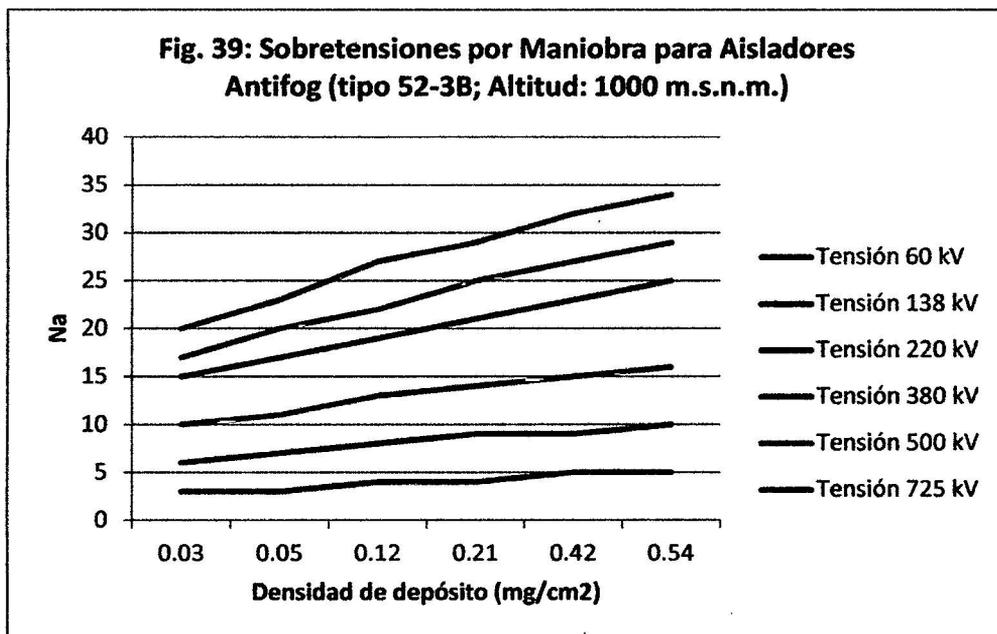


Fig. 38: Sobretensiones a Frecuencia Industrial para Aisladores Anti fog (tipo 52-3B; Altitud: 5000 m.s.n.m.)

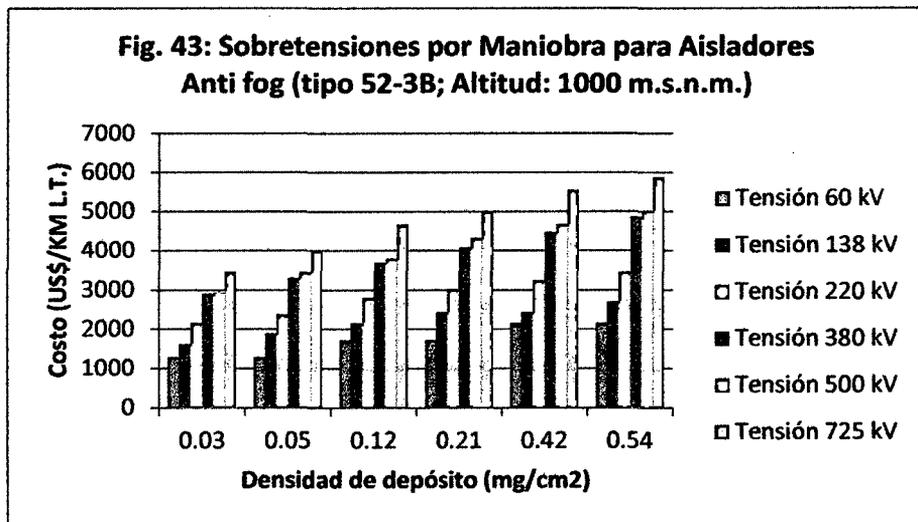
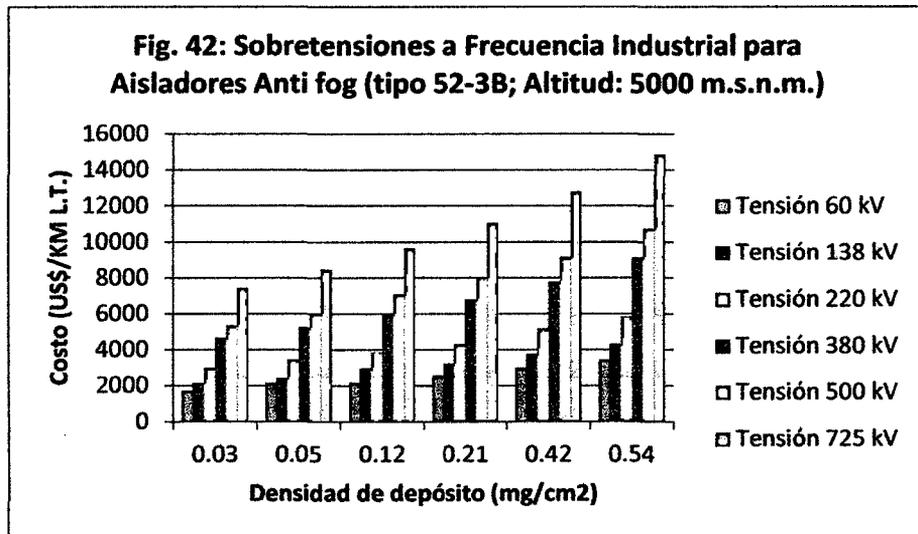
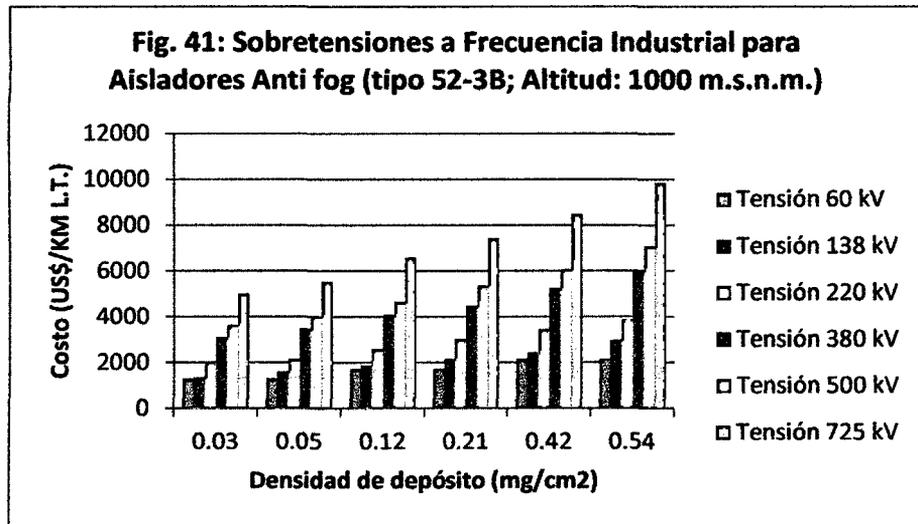


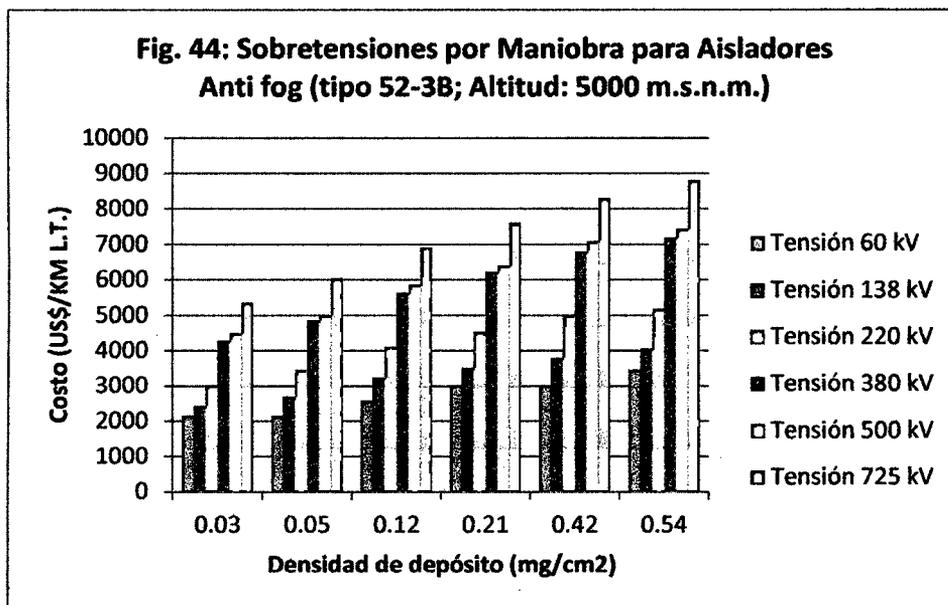


Para el análisis de costos, los resultados se indican en la tabla 29 y en los gráficos de las figuras 41, 42, 43 y 44.

Tabla 29: Costo de aisladores anti fog en L.T. cuando varía el depósito equivalente de sal.

TIPO DE SOBRETENSION COSTO			A FRECUENCIA INDUSTRIAL UUS\$/K.M.L.T.						POR MANIOBRA UUS\$/K.M.L.T.					
TENSION NOMINAL (KV.)	C.U. AISL. US\$/U.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm ²)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	72.45	0.03	12.8	1298	1298	1730	1730	1730	36	1298	1730	1730	2163	2163
		0.05	11.6	1298	1730	1730	2163	2163	30	1730	1730	1730	2163	2163
		0.12	9.9	1730	1730	2163	2163	2163	23.5	1730	2163	2163	2596	2596
		0.21	8.8	1730	2163	2163	2596	2596	22	2163	2163	2596	2596	3028
		0.42	7.6	2163	2163	2596	3028	3028	20	2163	2163	2596	3028	3028
		0.54	7.2	2163	2596	3028	3461	3461	18	2163	2596	2596	3028	3461
138	72.45	0.03	12.8	1622	1622	1893	2163	2163	36	1589	1589	1817	2044	2271
		0.05	11.6	1622	1893	2163	2433	2433	30	1589	1817	2044	2271	2498
		0.12	9.9	1893	2163	2433	2704	2974	23.5	1817	2044	2271	2725	2725
		0.21	8.8	2163	2433	2704	3245	3245	22	2044	2271	2498	2952	3179
		0.42	7.6	2433	2704	3245	3515	3785	20	2271	2498	2725	3179	3406
		0.54	7.2	2974	3245	3515	4056	4326	18	2498	2725	2952	3406	3633
220	72.45	0.03	12.8	1947	2163	2379	2596	2812	36	1817	1998	2361	2543	2725
		0.05	11.6	2163	2379	2596	3028	3028	30	1998	2361	2543	2906	3088
		0.12	9.9	2379	2812	3028	3461	3677	23.5	2361	2725	2906	3451	3451
		0.21	8.8	2812	3028	3461	3893	4110	22	2543	2906	3270	3815	3815
		0.42	7.6	3245	3461	3893	4542	4759	20	2906	3270	3451	3996	4178
		0.54	7.2	3677	4110	4542	5191	5408	18	3088	3451	3815	4360	4541
380	72.45	0.03	12.8	2920	3115	3504	4088	4283	36	2452	2779	3106	3597	3597
		0.05	11.6	3309	3699	4088	4672	4867	30	2779	3106	3433	3924	4087
		0.12	9.9	3699	4283	4672	5451	5645	23.5	3106	3597	3924	4578	4741
		0.21	8.8	4283	4672	5256	6035	6229	22	3433	3924	4414	5068	5232
		0.42	7.6	4867	5451	6035	7008	7203	20	3760	4251	4741	5558	5722
		0.54	7.2	5645	6229	7008	8176	8371	18	4087	4578	5068	5885	6049
500	72.45	0.03	12.8	3288	3807	4153	4845	5018	36	2616	2906	3197	3778	3778
		0.05	11.6	3807	4153	4672	5364	5537	30	2906	3197	3633	4214	4360
		0.12	9.9	4326	4845	5364	6229	6402	23.5	3342	3778	4214	4796	4941
		0.21	8.8	4845	5537	6056	7095	7268	22	3633	4114	4650	5377	5522
		0.42	7.6	5710	6402	7095	8133	8479	20	4069	4505	5086	5813	5958
		0.54	7.2	6576	7441	8133	9517	9863	18	4214	4796	5377	6103	6394
725	72.45	0.03	12.8	4672	4360	4796	5522	5813	36	3197	3488	3924	4505	4650
		0.05	11.6	5191	4941	5522	6249	6539	30	3488	3924	4360	5086	5232
		0.12	9.9	6056	5667	6394	7266	7557	23.5	4069	4505	5086	5813	5958
		0.21	8.8	6749	6394	7121	8283	8574	22	4505	5086	5522	6539	6685
		0.42	7.6	7787	7411	8283	9591	9882	20	4941	5522	6103	7121	7266
		0.54	7.2	9171	8574	9591	11044	11480	18	5232	5813	6539	7557	7702





- Otro tipo de aisladores:** Para el cálculo del número de aisladores, se utilizaron los aisladores de vidrio que se indican en la tabla 06, utilizando la expresión (2.6), en forma similar al ejemplo anterior. Los resultados se indican en la tabla 30 y en los gráficos de las figuras 45 y 46.

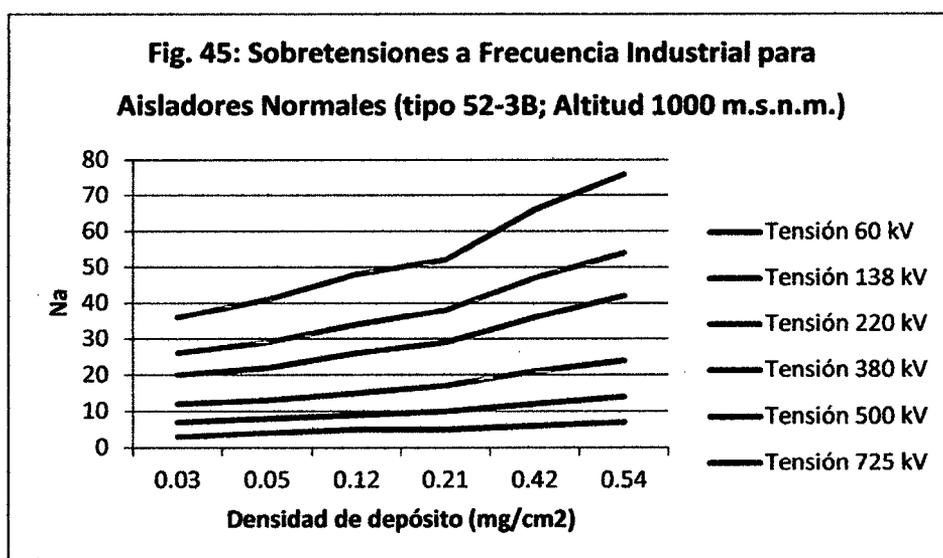
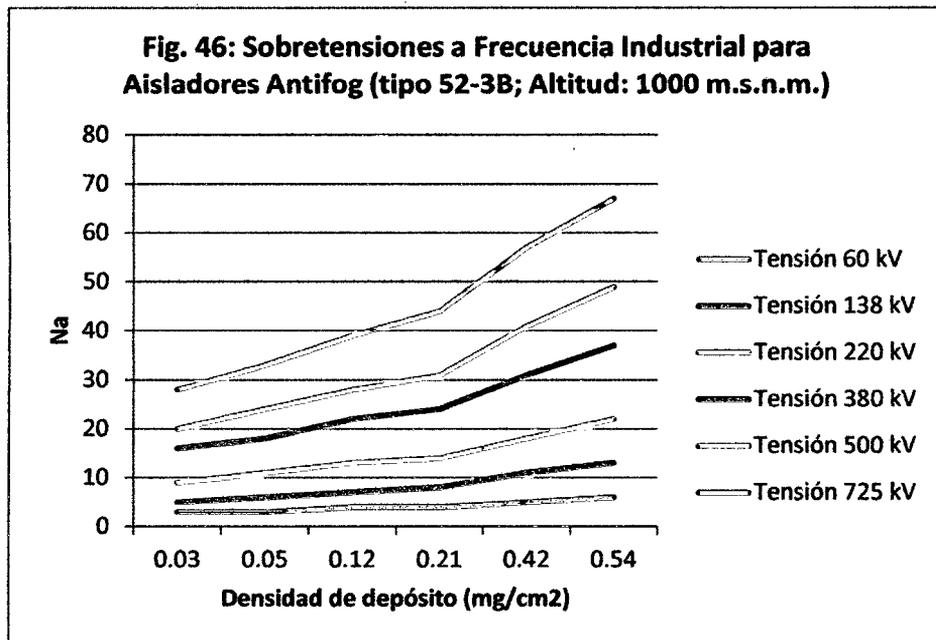


Tabla 30: Número de aisladores de vidrio en L.T. cuando varía el depósito equivalente de Sal.

TIPO DE SOBRETENSION CLASE Y NORMA			AFRECUENCIA INDUSTRIAL ANSI 52-3 B					POR MANIOBRA ANSI 52-3B						
TENSION NOMINAL (KV.)	ZONA DE CONTAM.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm ²)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	LIGERA	0.03	13.5	4	4	4	5	5	17.2	3	3	4	4	4
	MODERADA	0.05	11.86	4	4	5	6	6	14.6	3	4	4	5	5
	MEDIA	0.12	10.2	5	5	6	6	7	12.4	4	4	5	5	6
	SEVERA	0.21	9.27	5	6	6	7	7	11.1	4	5	5	6	6
	ALTA	0.42	7.4	6	7	8	9	9	8.5	5	6	7	8	8
	MUY ALTA	0.54	6.42	7	8	9	10	10	7.2	6	7	8	9	9
138	LIGERA	0.03	13.5	7	8	9	10	10	17.2	6	6	7	8	8
	MODERADA	0.05	11.86	8	9	10	11	12	14.6	7	7	8	9	10
	MEDIA	0.12	10.2	9	10	11	13	13	12.4	8	8	9	11	11
	SEVERA	0.21	9.27	10	11	12	14	15	11.1	8	9	10	12	12
	ALTA	0.42	7.4	12	14	15	18	18	8.5	11	12	13	15	16
	MUY ALTA	0.54	6.42	14	16	18	20	21	7.2	13	14	16	18	19
220	LIGERA	0.03	13.5	11	12	13	16	16	17.2	9	10	11	12	13
	MODERADA	0.05	11.86	12	14	15	18	18	14.6	10	11	12	14	15
	MEDIA	0.12	10.2	14	16	18	20	21	12.4	12	13	15	17	17
	SEVERA	0.21	9.27	16	17	19	22	23	11.1	13	15	16	19	19
	ALTA	0.42	7.4	19	22	24	28	29	8.5	17	19	21	24	25
	MUY ALTA	0.54	6.42	22	25	28	32	33	7.2	20	22	25	29	30
380	LIGERA	0.03	13.5	18	21	23	26	27	17.2	15	16	18	21	22
	MODERADA	0.05	11.86	21	23	26	30	31	14.6	17	19	21	24	25
	MEDIA	0.12	10.2	24	27	30	35	36	12.4	20	22	25	29	30
	SEVERA	0.21	9.27	27	30	33	38	40	11.1	22	25	28	32	33
	ALTA	0.42	7.4	33	37	41	48	49	8.5	29	32	36	42	43
	MUY ALTA	0.54	6.42	38	43	47	55	57	7.2	34	38	42	49	51
500	LIGERA	0.03	13.5	24	27	30	35	36	17.2	19	21	24	27	28
	MODERADA	0.05	11.86	27	31	34	39	41	14.6	22	25	28	32	33
	MEDIA	0.12	10.2	32	36	39	46	47	12.4	26	29	33	38	39
	SEVERA	0.21	9.27	35	39	43	50	52	11.1	29	33	36	42	43
	ALTA	0.42	7.4	43	49	54	63	65	8.5	38	43	47	55	57
	MUY ALTA	0.54	6.42	50	56	62	72	75	7.2	45	50	56	64	67
725	LIGERA	0.03	13.5	33	38	42	48	50	17.2	26	30	33	38	39
	MODERADA	0.05	11.86	38	43	47	55	57	14.6	31	35	39	45	46
	MEDIA	0.12	10.2	44	50	55	64	66	12.4	36	41	45	52	54
	SEVERA	0.21	9.27	48	54	60	70	72	11.1	41	46	51	59	61
	ALTA	0.42	7.4	61	68	76	88	91	8.5	53	59	66	76	79
	MUY ALTA	0.54	6.42	70	78	87	101	104	7.2	62	70	78	90	93



El análisis de costos se realizó en forma similar al ejemplo anterior y los resultados se indican en la tabla 30 y en los gráficos de las figuras 47 y 48.

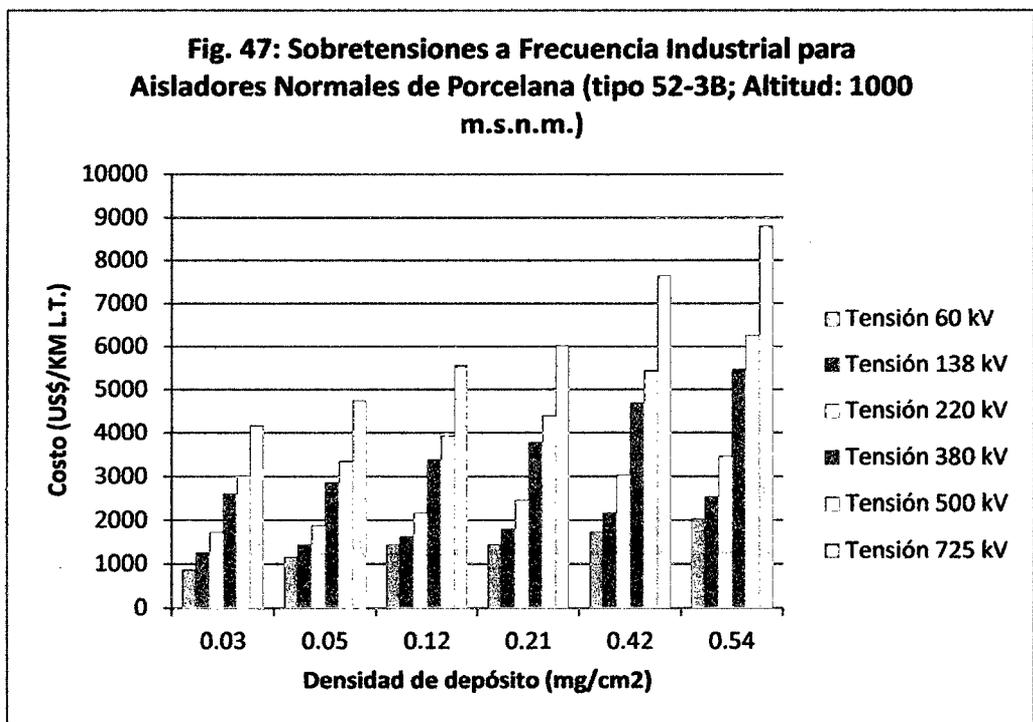
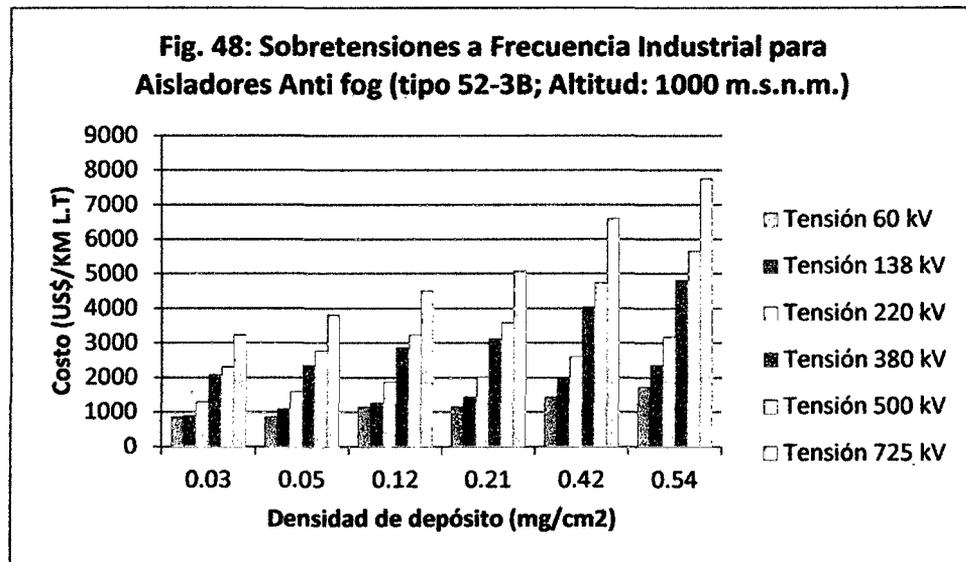


Tabla 30: Número de aisladores de vidrio en L.T. cuando varia el depósito equivalente de Sal

TIPO DE SOBRETENSION COSTO			A FRECUENCIA INDUSTRIAL NORMALES UU\$/K.M.L.T.						A FRECUENCIA INDUSTRIAL ANTIFOG UU\$/K.M.L.T.					
TENSION NOMINAL (KV.)	C.U. AISL. US\$/U.	DENSIDAD DE DEP. (mg/cm2)	T. SOST. UNIT. (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)					T. SOST. IMPULS (KV/U)	ALTITUD (m.s.n.m.)				
				1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
60	57.97	0.03	12.8	1159	1159	1159	1449	1449	17.2	1005	1005	1340	1340	1340
		0.05	11.6	1159	1159	1449	1739	1739	14.6	1005	1340	1340	1675	1675
		0.12	9.9	1449	1449	1739	1739	2029	12.4	1340	1340	1675	1675	2009
		0.21	8.8	1449	1739	1739	2029	2029	11.1	1340	1675	1675	2009	2009
		0.42	7.6	1739	2029	2319	2609	2609	8.5	1675	2009	2344	2679	2679
		0.54	7.2	2029	2319	2609	2899	2899	7.2	2009	2344	2679	3014	3014
138	57.97	0.03	12.8	1268	1449	1630	1812	1812	17.2	1087	1087	1268	1449	1449
		0.05	11.6	1449	1630	1812	1993	2174	14.6	1268	1268	1449	1630	1812
		0.12	9.9	1630	1812	1993	2355	2355	12.4	1449	1449	1630	1993	1993
		0.21	8.8	1812	1993	2174	2536	2717	11.1	1449	1630	1812	2174	2174
		0.42	7.6	2174	2536	2717	3261	3261	8.5	1993	2174	2355	2717	2899
		0.54	7.2	2536	2899	3261	3623	3804	7.2	2355	2536	2899	3261	3442
220	57.97	0.03	12.8	1594	1739	1884	2319	2319	17.2	1304	1449	1594	1739	1884
		0.05	11.6	1739	2029	2174	2609	2609	14.6	1449	1594	1739	2029	2174
		0.12	9.9	2029	2319	2609	2899	3043	12.4	1739	1884	2174	2464	2464
		0.21	8.8	2319	2464	2754	3188	3333	11.1	1884	2174	2319	2754	2754
		0.42	7.6	2754	3188	3478	4058	4203	8.5	2464	2754	3043	3478	3623
		0.54	7.2	3188	3623	4058	4638	4783	7.2	2899	3188	3623	4203	4348
380	57.97	0.03	12.8	2348	2739	3000	3391	3522	17.2	1956	2087	2348	2739	2870
		0.05	11.6	2739	3000	3391	3913	4043	14.6	2217	2478	2739	3130	3261
		0.12	9.9	3130	3522	3913	4565	4696	12.4	2609	2870	3261	3783	3913
		0.21	8.8	3522	3913	4304	4956	5217	11.1	2870	3261	3652	4174	4304
		0.42	7.6	4304	4826	5348	6261	6391	8.5	3783	4174	4696	5478	5609
		0.54	7.2	4956	5609	6130	7174	7435	7.2	4435	4956	5478	6391	6652
500	57.97	0.03	12.8	2783	3130	3478	4058	4174	17.2	2203	2435	2783	3130	3246
		0.05	11.6	3130	3594	3942	4522	4754	14.6	2551	2899	3246	3710	3826
		0.12	9.9	3710	4174	4522	5333	5449	12.4	3014	3362	3826	4406	4522
		0.21	8.8	4058	4522	4985	5797	6029	11.1	3362	3826	4174	4869	4985
		0.42	7.6	4985	5681	6261	7304	7536	8.5	4406	4985	5449	6377	6609
		0.54	7.2	5797	6493	7188	8348	8696	7.2	5217	5797	6493	7420	7768
725	57.97	0.03	12.8	3826	4406	4869	5565	5797	17.2	3014	3478	3826	4406	4522
		0.05	11.6	4406	4985	5449	6377	6609	14.6	3594	4058	4522	5217	5333
		0.12	9.9	5101	5797	6377	7420	7652	12.4	4174	4754	5217	6029	6261
		0.21	8.8	5565	6261	6956	8116	8348	11.1	4754	5333	5913	6840	7072
		0.42	7.6	7072	7884	8811	10203	10551	8.5	6145	6840	7652	8811	9159
		0.54	7.2	8116	9043	10087	11710	12058	7.2	7188	8116	9043	10435	10782



Efecto de la Tensión de Sostenimiento:

- **Aisladores Normales:** Se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05.

Ejemplo de cálculo: Para una línea de transmisión de 380 kV, a 2000 m.s.n.m., para una zona agrícola, con aisladores tipo B, clase 52-3, se tiene:

Tensión máxima: $V_{max} = 420$ kV, tabla 04

Factor de sobretensión: $k_s = 2.25$, tabla 10

Factor de corrección por lluvia: $k_l = 1.05$

Factor de corrección por humedad: $k_h = 0.96$, tabla 12

Densidad relativa del aire: $\delta = 0.78$, tabla 13

Exponente de corrección: $n=0.67$, tabla 11

Distancia mínima de no arqueo: $d = 3.40$ m, tabla 13

Máx. Sobretensión de maniobra: $V_{sm} = 0.8165 \times 2.25 \times 420 = 771.6$ kV

Tensión crítica de contorno: $V_{cm} = .96 \times 2.25 \times 1.05 \times 420 \times (0.96/0.78)^{0.67}$

$$V_{cm} = 1094.7 \text{ kV}$$

Distancia del conductor a torre:

$$d = (1094.7/600)^{1/0.6} = 2.72 \text{ m}$$

Número de aisladores:

$$N_a = \frac{1.05 \times 2.72}{0.146} = 19.56 \approx 20$$

Tensión de sostenimiento:

$$V_{so} = 1.15 \times 771.6 \times (0.96/0.78)^{0.67}$$

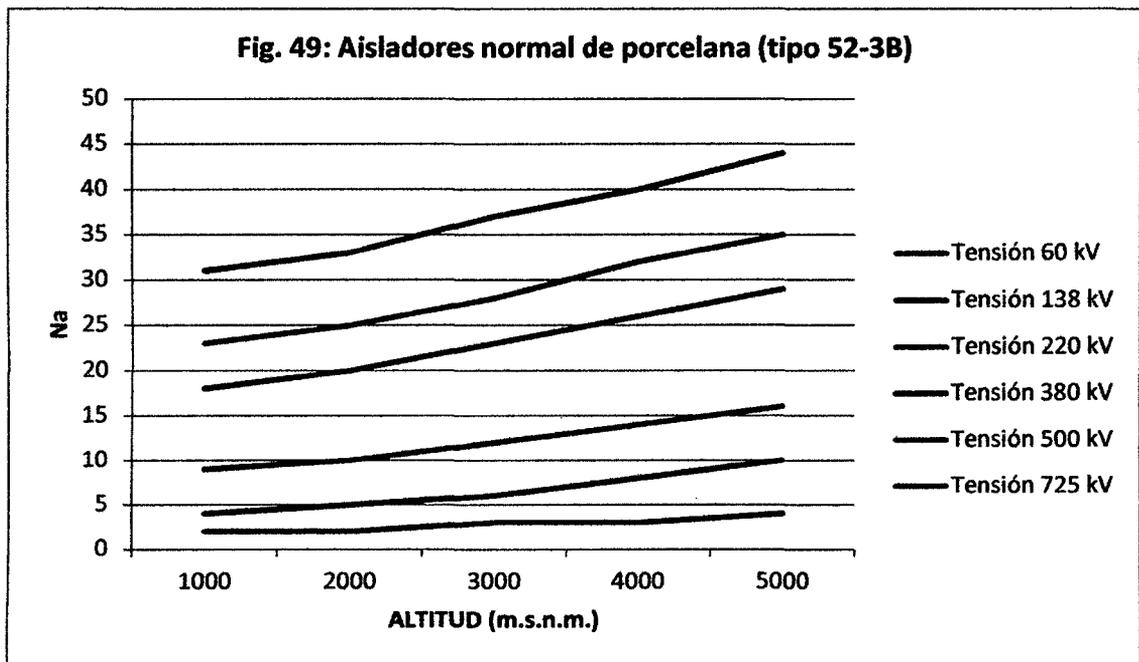
$$V_{so} = 1019.8 \text{ kV}$$

El procedimiento de cálculo es similar para otros niveles de tensión, altitud y tipo de aisladores. Los resultados se indican en las tablas 31 y en el gráfico de la figura 49.

Tabla 31: Número de aisladores en L.T. cuando varía la tensión de sostenimiento.

MATERIAL DEL AISLADOR CLASE Y NORMA			PORCELANA Y VIDRIO ANSI 52-3B, 52-5J Y 52-8K					
PARAM.	ALTITUD (m.s.n.m.)	DENSIDAD RELATIVA AIRE	TENSION NOMINAL (KV.)					
			60	138	220	380	500	725
TENSION CRITICA DE FLAMEO (KV.)	1000	0.86	222.2	420	679.3	1029	1187	1417
	2000	0.78	244.9	463	728.7	1086	1261	1485
	3000	0.71	281.5	532.2	815.1	1182	1353	1579
	4000	0.64	323.5	610.1	876.9	1277	1442	1660
	5000	0.56	377	712.7	957.1	1372	1547	1755
LONG. CADENA DE AISLAD. (m.)	1000	0.86	0.2	0.58	1.291	2.581	3.273	4.399
	2000	0.78	0.236	0.682	1.451	2.824	3.621	4.754
	3000	0.71	0.297	0.86	1.75	3.249	4.072	5.269
	4000	0.64	0.375	1.08	1.976	3.697	4.527	5.727
	5000	0.56	0.484	1.399	2.287	4.168	5.092	6.28
TENSION DE SOSTENIM. (KV.)	1000	0.86	206.9	391.1	632.5	958.3	1105	1320
	2000	0.78	228	431.1	678.5	1012	1174	1383
	3000	0.71	262.1	495.6	759	1100	1260	1471
	4000	0.64	301.2	568.1	816.5	1189	1343	1546
	5000	0.56	351	663.7	891.3	1278	1441	1634
AISLADORES DE PORCELANA Y VIDRIO CLASE 52-3B, 52-5J Y 52-8K								
NUMERO DE AISLAD.	1000	0.86	2	4	9	18	23	31
	2000	0.78	2	5	10	20	25	33

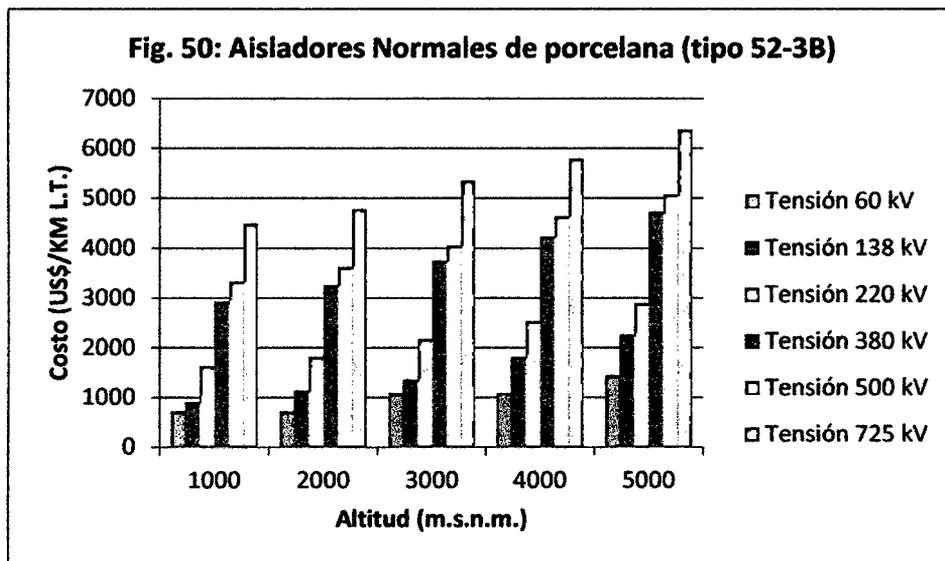
NORMAL	3000	0.71	3	6	12	23	28	37
	4000	0.64	3	8	14	26	32	40
	5000	0.56	4	10	16	29	35	44
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-8K								
NUMERO DE AISLAD. ANTIFOG	1000	0.86	2	4	9	17	21	28
	2000	0.78	2	5	10	18	23	30
	3000	0.71	2	6	12	21	26	34
	4000	0.64	3	7	13	24	29	37
	5000	0.56	4	9	15	27	33	40
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-8K								
NUMERO DE AISLAD. ANTIFOG	1000	0.86	2	4	8	16	20	26
	2000	0.78	2	5	9	17	22	28
	3000	0.71	2	6	11	20	24	31
	4000	0.64	3	7	12	22	27	34
	5000	0.56	3	9	14	25	30	37



A partir de las tablas 18 y 19, se realizó la evaluación de los costos, los resultados se indican en la tabla 32 y en el gráfico de la figura 50.

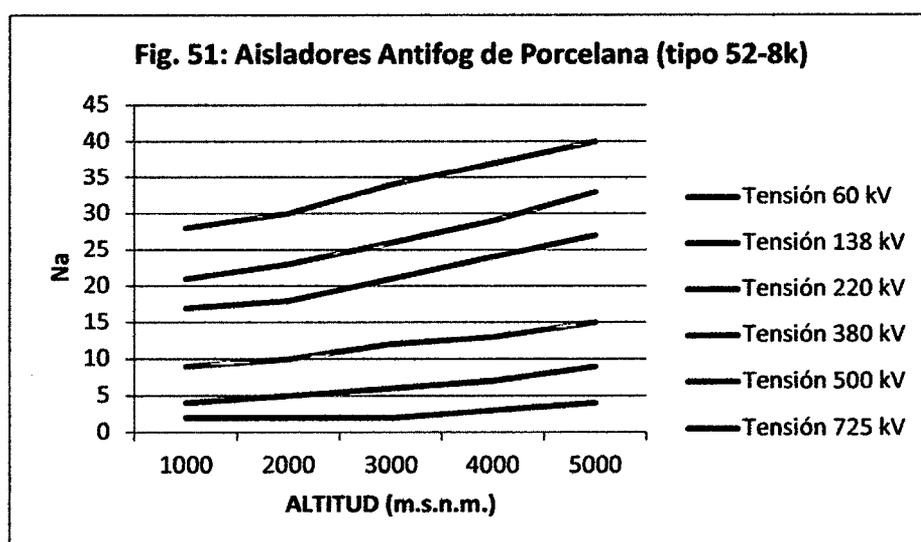
Tabla 32: Costo de aisladores en L.T. cuando varía la tensión de sostenimiento.

MATERIAL DEL AISLADOR CLASE Y NORMA			PORCELANA Y VIDRIO ANSI 52-3B, 52-5J Y 52-8K					
PARAM.	ALTITUD (m.s.n.m.)	DENSIDAD RELATIVA AIRE	TENSION NOMINAL (KV.)					
			60	138	220	380	500	725
TENSION DE SOSTENIM. (KV.)	1000	0.86	206.9	391.1	632.5	958.3	1105	1320
	2000	0.78	228	431.1	678.5	1012	1174	1383
	3000	0.71	262.1	495.6	759	1100	1260	1471
	4000	0.64	301.2	568.1	816.5	1189	1343	1546
	5000	0.56	351	663.7	891.3	1278	1441	1634
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. NORMAL US\$/K.M	1000	0.86	724.9	906.1	1631	2936	3335	4494
	2000	0.78	724.9	1133	1812	3262	3625	4784
	3000	0.71	1087	1359	2175	3751	4059	5364
	4000	0.64	1087	1812	2537	4241	4639	5799
	5000	0.56	1450	2265	2900	4730	5074	6379
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. ANTIFOG US\$/K.M	1000	0.86	865.6	1082	1948	3311	3636	4847
	2000	0.78	865.6	1353	2164	3506	3982	5194
	3000	0.71	865.6	1623	2597	4090	4501	5886
	4000	0.64	1298	1894	2813	4674	5020	6405
	5000	0.56	1731	2435	3246	5259	5713	6925
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. NORMAL US\$/K.M	1000	0.86	575.8	719.8	1296	2332	2649	3570
	2000	0.78	575.8	899.7	1440	2591	2879	3800
	3000	0.71	863.7	1080	1727	2980	3224	4261
	4000	0.64	863.7	1440	2015	3368	3685	4606
	5000	0.56	1152	1799	2303	3757	4031	5067
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. ANTIFOG US\$/K.M	1000	0.86	669.8	837.3	1507	2562	2813	3751
	2000	0.78	669.8	1047	1675	2713	3081	4019
	3000	0.71	669.8	1256	2009	3165	3483	4555
	4000	0.64	1005	1465	2177	3617	3885	4957
	5000	0.56	1340	1884	2512	4069	4421	5358

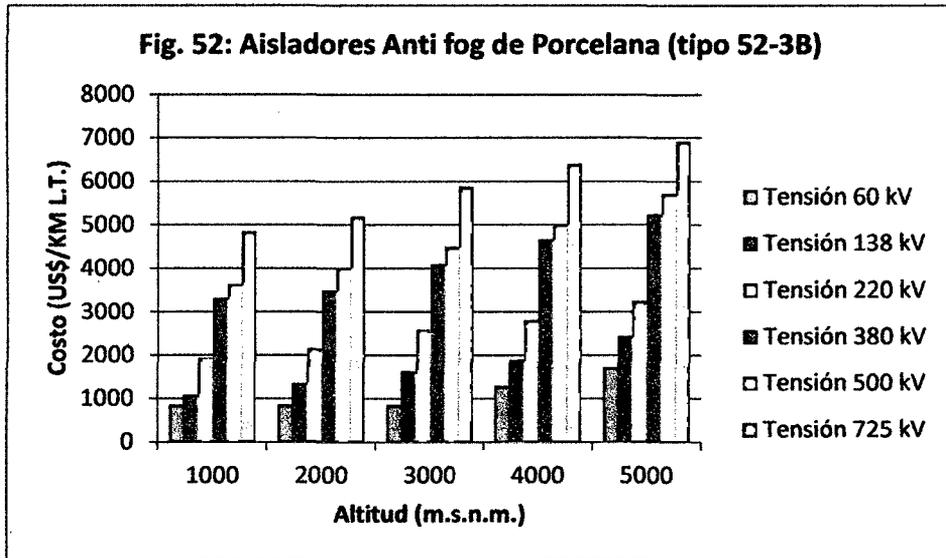


- **Aisladores Anti fog:** Para el cálculo del número de aisladores se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05, utilizando las expresiones (2.14) y (2.15); en forma similar al ejemplo desarrollado para los aisladores normales.

Los resultados se indican en la tabla 31 y en el gráfico de la figura 51.

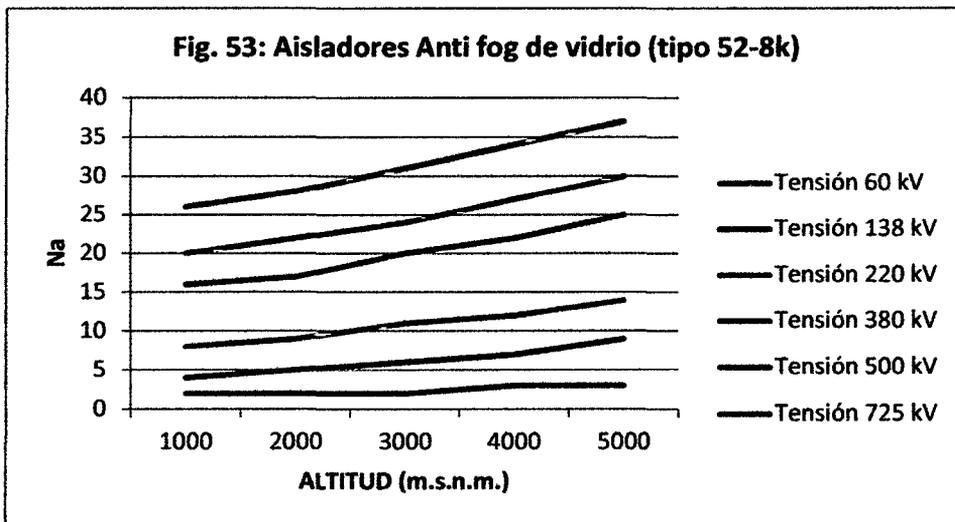


Los costos se calculan de forma similar a los cálculos anteriores y los resultados se indican en la tabla 32 y en el gráfico de la figura 52.

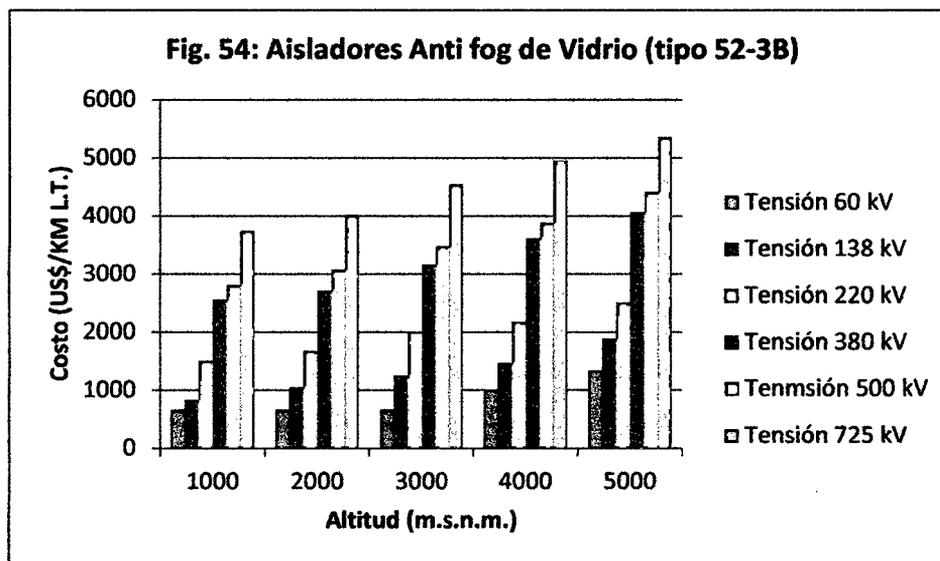


- Otro tipo de aisladores:** Para el cálculo del número de aisladores, se utilizaron los aisladores de vidrio que se indican en la tabla 06; utilizando las expresiones (2.14) y (2.15), en forma similar al ejemplo desarrollado para los aisladores anti fog.

Los resultados se indican en la tabla 31 y en el gráfico de la figura 53.



Para el análisis de costos se calculó de manera similar a los otros aisladores y los resultados se indican en la tabla 32 y en el gráfico de la figura 54.



Efecto de la Tensión de Impulso:

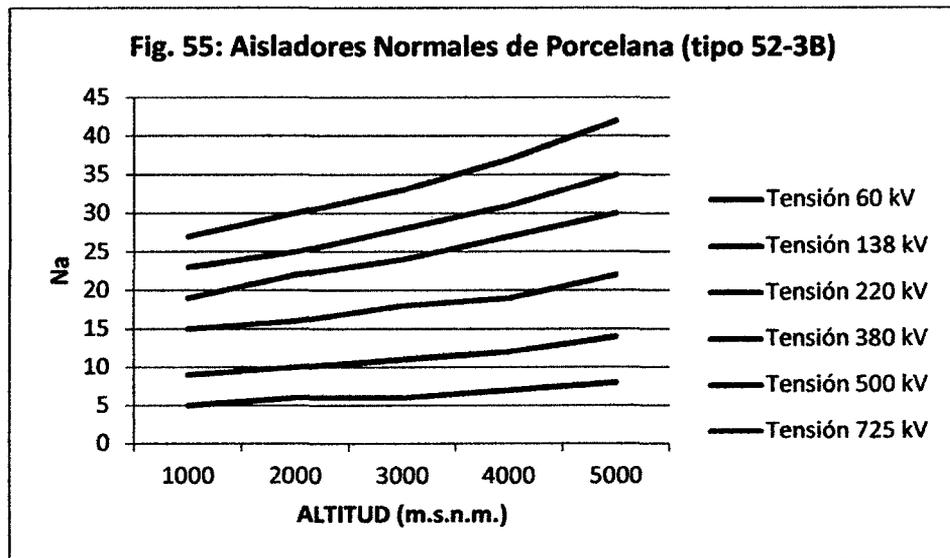
- **Aisladores Normales:** Para el cálculo del número de aisladores se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 05 y el cálculo se efectuó a partir de las expresiones (2.19) y (2.20).

Los resultados se indican en la tabla 33 y en el gráfico de la figura 55.

Tabla 33: Número de aisladores en L.T. cuando varía la tensión crítica de impulso

MATERIAL DEL AISLADOR CLASE Y NORMA			PORCELANA Y VIDRIO ANSI 52-3B, 52-5J Y 52-8K					
PARAM.	ALTITUD (m.s.n.m.)	DENSIDAD RELATIVA AIRE	TENSION NOMINAL (KV.)					
			60	138	220	380	500	725
LONG. CADENA DE AISLAD. (m.)	1000	0.86	0.68	1.27	2.05	2.75	3.24	3.86
	2000	0.78	0.75	1.4	2.26	3.07	3.61	4.31
	3000	0.71	0.84	1.56	2.52	3.42	4.01	4.81
	4000	0.64	0.93	1.7	2.76	3.8	4.47	5.34
	5000	0.56	1.05	1.95	3.15	4.28	5.03	6.02
TENSION CRÍTICA DE IMPULSO (KV.)	1000	0.86	419	786.5	1271	1704	2003	2392
	2000	0.78	467	867.1	1407	1901	2235	2668
	3000	0.71	520	966.2	1561	2118	2490	2973
	4000	0.64	578	1057	1707	2354	2767	3303
	5000	0.56	650.4	1208	1951	2648	3112	3716

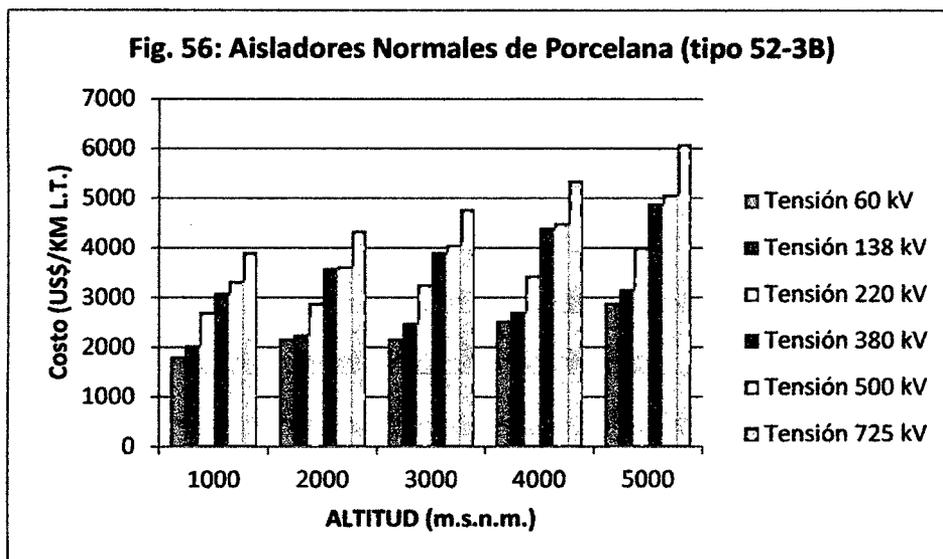
AISLADORES DE PORCELANA Y VIDRIO CLASE 52-3B, 52-5J Y 52-8K								
NUMERO DE AISLAD. NORMAL	1000	0.86	5	9	15	19	23	27
	2000	0.78	6	10	16	22	25	30
	3000	0.71	6	11	18	24	28	33
	4000	0.64	7	12	19	27	31	37
	5000	0.56	8	14	22	30	35	42
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-8K								
NUMERO DE AISLAD. ANTIFOG	1000	0.86	5	8	13	18	21	25
	2000	0.78	5	9	15	20	23	28
	3000	0.71	6	10	16	22	26	31
	4000	0.64	6	11	18	24	29	34
	5000	0.56	7	13	20	27	32	38
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-8K								
NUMERO DE AISLAD. ANTIFOG	1000	0.86	5	8	13	17	20	23
	2000	0.78	5	9	14	19	22	26
	3000	0.71	5	10	15	21	24	29
	4000	0.64	6	10	17	23	27	32
	5000	0.56	7	12	19	26	30	36



Al igual que los ejemplos anteriores Los resultados de los costos se indican en la tabla 34 y en el gráfico de la figura 56.

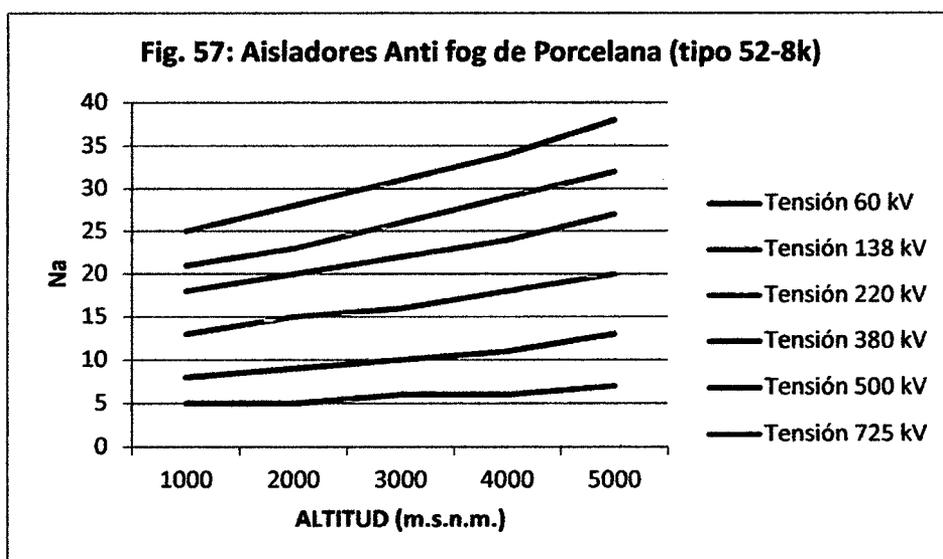
Tabla 34: Costo de aislador en L.T. cuando varía la tensión crítica de impulso.

MATERIAL DEL AISLADOR CLASE Y NORMA			PORCELANA Y VIDRIO ANSI 52-3B, 52-5J Y 52-8K					
PARAM.	ALTITUD (m.s.n.m.)	DENSIDAD RELATIVA AIRE	TENSION NOMINAL (KV.)					
			60	138	220	380	500	725
TENSION CRÍTICA DE IMPULSO (KV.)	1000	0.86	419	786.5	1271	1704	2003	2392
	2000	0.78	467	867.1	1407	1901	2235	2668
	3000	0.71	520	966.2	1561	2118	2490	2973
	4000	0.64	578	1057	1707	2354	2767	3303
	5000	0.56	650.4	1208	1951	2648	3112	3716
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. NORMAL US\$/K.M	1000	0.86	1812	2039	2718	3099	3335	3914
	2000	0.78	2175	2265	2900	3588	3625	4349
	3000	0.71	2175	2492	3262	3914	4059	4784
	4000	0.64	2537	2718	3443	4404	4494	5364
	5000	0.56	2900	3171	3987	4893	5074	6089
AISLADOR DE PORCELANA CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. ANTIFOG US\$/K.M	1000	0.86	2164	2164	2813	3506	3636	4328
	2000	0.78	2164	2435	3246	3895	3982	4847
	3000	0.71	2597	2705	3462	4285	4501	5367
	4000	0.64	2597	2976	3895	4674	5020	5886
	5000	0.56	3030	3517	4328	5259	5540	6579
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. NORMAL US\$/K.M	1000	0.86	1440	1619	2159	2462	2649	3109
	2000	0.78	1727	1799	2303	2850	2879	3455
	3000	0.71	1727	1979	2591	3109	3224	3800
	4000	0.64	2015	2159	2735	3498	3570	4261
	5000	0.56	2303	2519	3167	3887	4031	4837
AISLADOR DE VIDRIO CLASE 52-3B								
COSTO DE AISLAD. ANTIFOG US\$/K.M	1000	0.86	1675	1675	2177	2713	2813	3349
	2000	0.78	1675	1884	2512	3014	3081	3751
	3000	0.71	2009	2093	2679	3316	3483	4153
	4000	0.64	2009	2302	3014	3617	3885	4555
	5000	0.56	2344	2721	3349	4069	4287	5090

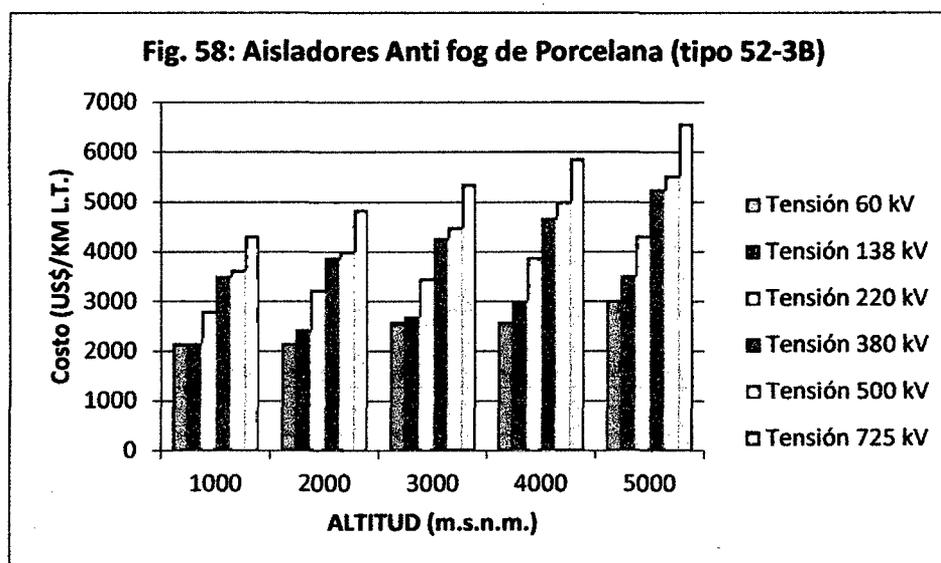


- **Aisladores Anti fog:** Para el cálculo del número de aisladores se utilizaron los aisladores de porcelana que se indican en la tabla 06 y el cálculo se efectuó en forma similar al ejemplo anterior.

Los resultados se indican en la tabla 33 y en el gráfico de la figura 57.

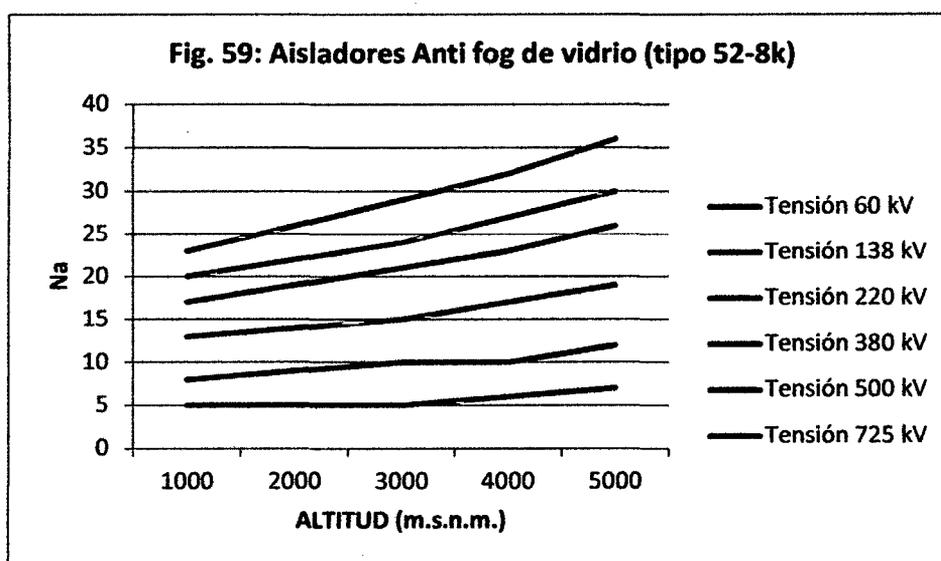


Para el análisis de costos, los resultados se indican en la tabla 34 y en el gráfico de la figura 58.

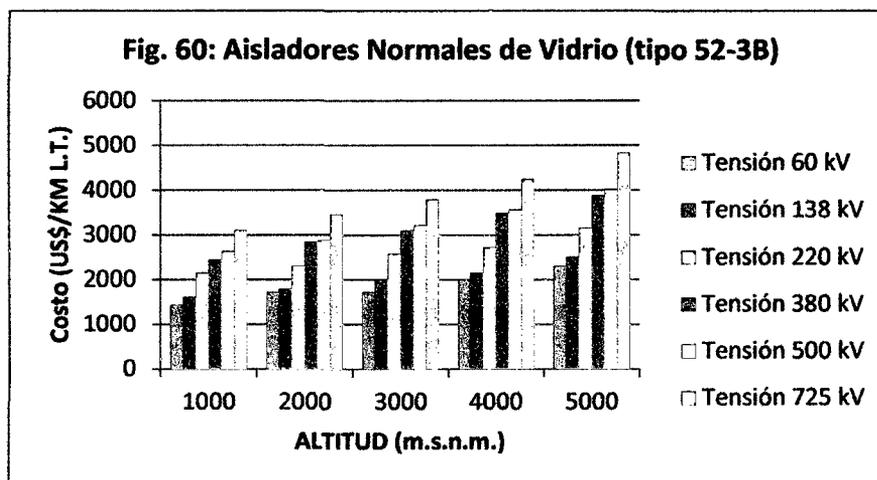


- **Otro tipo de aisladores:** Para el cálculo del número de aisladores se utilizaron los aisladores de vidrio que se indican en la tabla 06 y el procedimiento de cálculo es idéntico al ejemplo anterior.

Los resultados se indican en la tabla 33 y en el gráfico de la figura 59.



Por último para el análisis de costos los resultados se indican en la tabla 34 y en el gráfico de la figura 60.



Cálculos eléctricos y mecánicos

- **Aisladores Normales:** En el capítulo 2 se desarrollaron los distintos métodos para el diseño de aislamiento en líneas aéreas de Alta Tensión. En la tabla 35, se indica el resumen de los cálculos eléctricos para las cadenas de aisladores normales, efectuados en los capítulos anteriores, para los niveles de tensión más usados en el Perú.
- **Aisladores Anti fog:** En la tabla 36 se indica el resumen de los cálculos eléctricos, para las cadenas de aisladores anti fog, efectuados en el capítulo 2, para niveles de tensión más usados en el Perú.

Tabla 35: Resumen de aisladores normales zona rural de contaminación ligera.

TENSIÓN NOMINAL (kV)	ALTITUD (m.s.n.m.)	PARAMETROS			
		POLUCIÓN	DENSIDAD DE	TENSIÓN DE SOSTENIMIENTO	TENSIÓN CRÍTICA DE IMPULSO
60	1000	2	4	2	5
	2000	2	4	2	6
	3000	3	4	3	6
	4000	3	5	3	7
	5000	3	5	4	8

138	1000	4	7	4	9
	2000	4	8	5	10
	3000	5	9	6	11
	4000	5	10	8	12
	5000	5	11	10	14
220	1000	6	11	9	15
	2000	7	13	10	16
	3000	7	14	12	18
	4000	8	16	14	19
	5000	9	17	16	22

Tabla 36: Resumen de aisladores anti fog zona rural de contaminación ligera

TENSIÓN NOMINAL (kV)	ALTITUD (m.s.n.m.)	PARAMETROS			
		POLUCIÓN	DENSIDAD DE DEPOSITO	TENSIÓN DE SOSTENIMIENTO	TENSIÓN CRÍTICA DE IMPULSO
60	1000	2	3	2	5
	2000	2	3	2	6
	3000	2	4	3	6
	4000	3	4	3	7
	5000	3	4	4	8
138	1000	2	6	4	9
	2000	4	6	5	10
	3000	4	7	6	11
	4000	5	8	8	12
	5000	5	8	10	14
220	1000	5	9	9	13
	2000	6	10	10	15
	3000	6	11	12	16
	4000	7	12	13	18
	5000	8	13	14	20

4.2 Discusión:

De los cálculos realizados podemos apreciar que:

- A medida que se incrementa la altitud, la Tensión máxima, la polución y el depósito equivalente de sal, se requiere mayor número de aisladores; y por lo tanto los costos también se incrementan.
- El número de aisladores utilizados en zonas próximas al mar es mayor en un 60% a los aisladores en zonas rurales.
- Los aisladores anti fog de porcelana tienen menor costo que los aisladores normales de porcelana, para todo nivel de tensión, altitud y grado de contaminación.
- En el caso de los aisladores de vidrio tanto normales como anti fog, sus costos se incrementan hasta en un 200% cuando la polución es más severa.
- Para sobretensiones por maniobra se requiere menor número de aisladores normales y anti fog.
- En sobretensiones a frecuencia industrial los aisladores anti fog son más convenientes que los aisladores normales, debido a que se requiere un menor número de los mismos en la L.T. Y esto se aplica tanto para aisladores de porcelana como para aisladores de vidrio.
- Los costos de aisladores para sobretensiones por maniobra, son hasta 50% mayores que para sobretensiones a frecuencia industrial.
- Cuando la tensión de sostenimiento y la tensión de impulso influyen en la L.T., se requiere hasta un 9% más de aisladores de porcelana que los aisladores de vidrio. Este mismo porcentaje se ve reflejado en el costo de ambos tipos de aisladores.
- Para el caso de los aisladores de vidrio con influencia de la tensión de sostenimiento o la tensión de impulso, los aisladores anti fog de vidrio tienen mayor costo que los aisladores normales de vidrio.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- En el diseño del aislamiento de Líneas de Alta Tensión intervienen muchos parámetros y variables que dependen de las condiciones climáticas y los niveles de contaminación en las zonas de ubicación de las líneas, según la posición geográfica; éstos son: Grado de aislamiento, factor de corrección por altura, Longitud de fuga, Tensión máxima del sistema, factor de sobretensión de la red, tensión de sostenimiento unitario y tensión de sostenimiento a impulsos.
- Para tensiones <250 Kv, en zonas rurales y agrícolas con polución ligera (Grado de aislamiento <1.5 cm/Kv) y con densidad de depósito de contaminación <0.05 mg/cm² de equivalente salino, el diseño del aislamiento en líneas de transmisión debe hacerse teniendo en cuenta las sobretensiones por descargas de rayo; sin embargo para zonas próximas al mar con polución fuerte (Grado de aislamiento mayor a 2.4 cm/kV) y con densidad de depósito equivalente de sal mayor a 0.25 mg/cm², el diseño del aislamiento debe hacerse atendiendo las sobretensiones de frecuencia de red y por maniobra.
- Para líneas de transmisión con tensiones superiores a 300kV, para las diferentes zonas de trabajo, grado de polución y contaminación salina, el diseño del aislamiento para líneas de EAT y UAT debe hacerse teniendo en cuenta las sobretensiones por maniobra.
- Los aisladores anti fog de porcelana y vidrio son hasta en un 20% más económico en comparación a los aisladores normales, esto se cumple cuando se incrementa la Tensión máxima, la altitud y el nivel de contaminación.
- Los costos para aisladores de porcelana y vidrio son hasta 50% mayores para el caso de sobretensiones por maniobra que para sobretensiones a frecuencia industrial.
- El efecto de la tensión de sostenimiento y la tensión de impulso, generan un incremento hasta en un 55% en el costo de los aisladores de porcelana y una reducción del 15% en el costo de los aisladores de vidrio.

RECOMENDACIONES:

- En zonas de gran contaminación con depósitos de equivalente salino superiores a 0.25 mg/cm^2 , se debe utilizar aisladores con mayor longitud de fuga (antifog) con lo cual se logra menores dimensiones en las cadenas de aisladores.
- En zonas rurales con polución muy ligera se debe utilizar los aisladores normales de porcelana, cuyos costos también son más económicos en comparación a los aisladores de vidrio.
- Finalmente, para los sistemas eléctricos de transmisión de AT, EAT y UAT, donde los requisitos de seguridad y la continuidad de servicio son básico, por fallas en el aislamiento, es recomendable que el aspecto técnico sea de mayor importancia que el aspecto económico.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. J. MARTINEZ VELASCO, “Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión”, Editorial Mc Graw Hill 2008.
2. G. ZOPPETTI JÚDEZ, “Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión”, Ediciones Gustavo Gili S.A. 1987.
3. L. MARÍA CHECA, “Líneas de Transporte de Energía”, Editorial Alfa omega S.A. Tercera Edición 2000.
4. B.M. WEEDY, “Sistemas Eléctricos de Gran Potencia”. Editorial Reverte 1982.
5. J. MORENO MOHÍNO, “Reglamento de Líneas de Alta Tensión y sus Fundamentos Técnicos”, Editorial Paraninfo S.A. España 2010 Primera Edición.
6. L. SIEGERT C., “Alta Tensión y Sistemas de Transmisión” Editorial Limusa 1986.
7. P. SIMON COMIN, “Calculo y Diseño de Líneas Eléctricas de Alta Tensión”, Editorial GARCETA 2011.

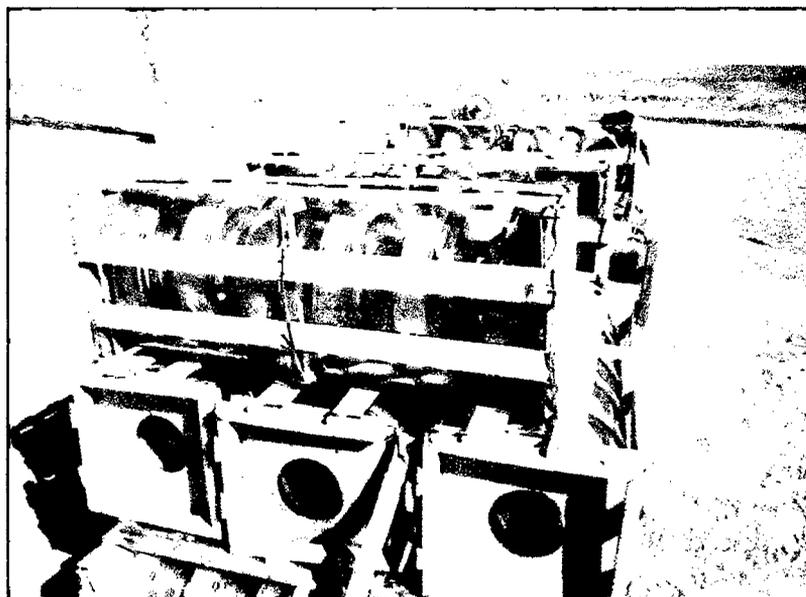
CATÁLOGOS Y SEPARATAS

Aisladores de suspensión:	Catálogo N°61, 1983, NGK INSULATORS, LTDA.
Insulation for switching surges:	J.G. Anderson, K.W. Priest – Electric Power Research institute
Lightning performance of EHV – UHV lines:	J.G. Anderson – Electric Power Research institute

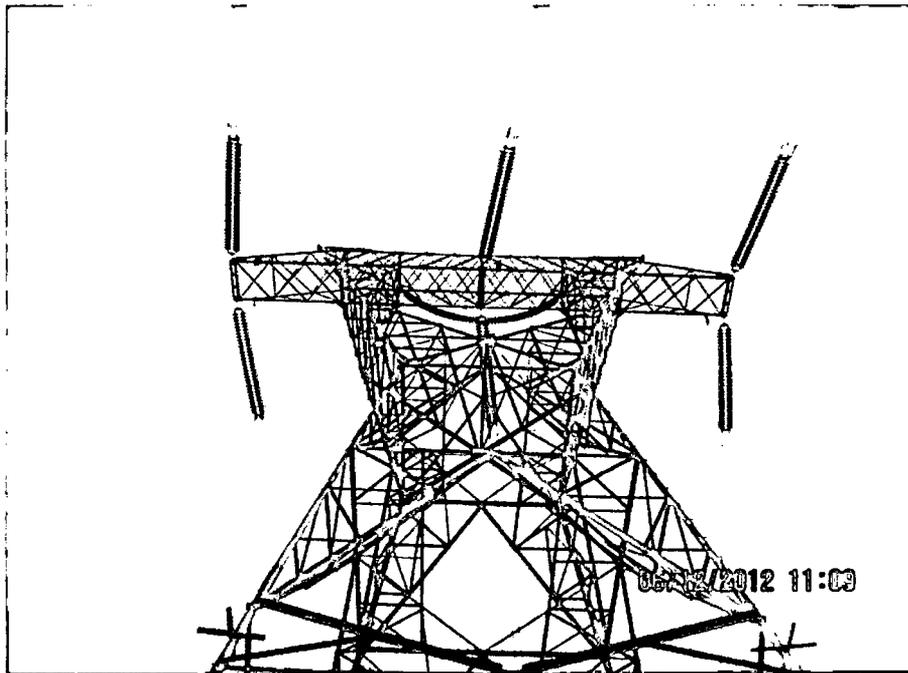
ANEXO

ANEXO 1: LINEA DE TRANSMISIÓN 500Kv L3 OCOÑA – MONTALVO

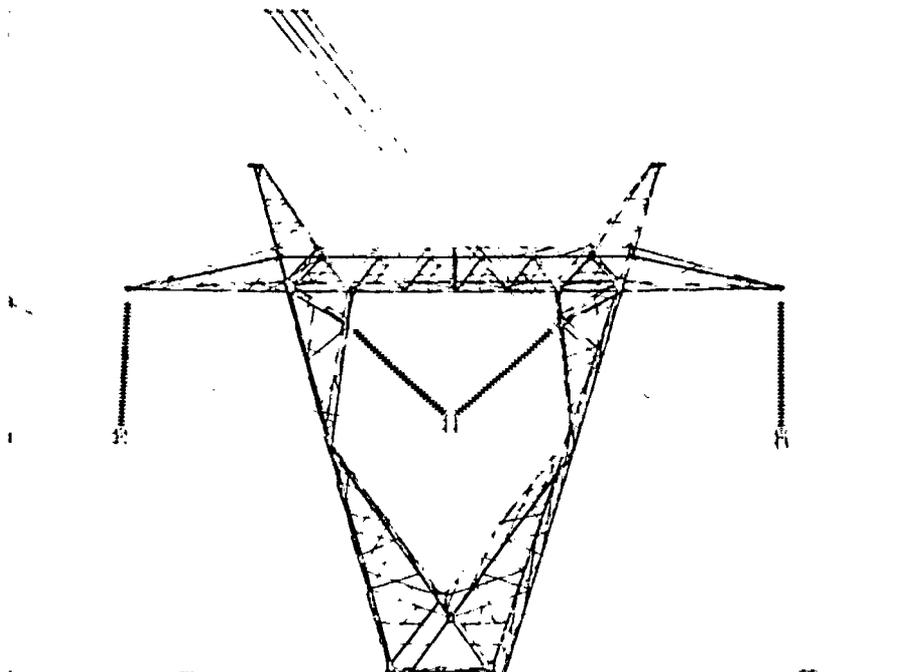
Los aisladores utilizados fueron de vidrio templado de tipo anti fog con protección de silicona para zonas de cercanas al mar (de torre 01 a torre 90) por el alto grado de contaminación y presencia de neblina. Fueron instaladas 506 torres, entre las cuales destacan las torres venteadas que son utilizadas por primer vez en el Perú.



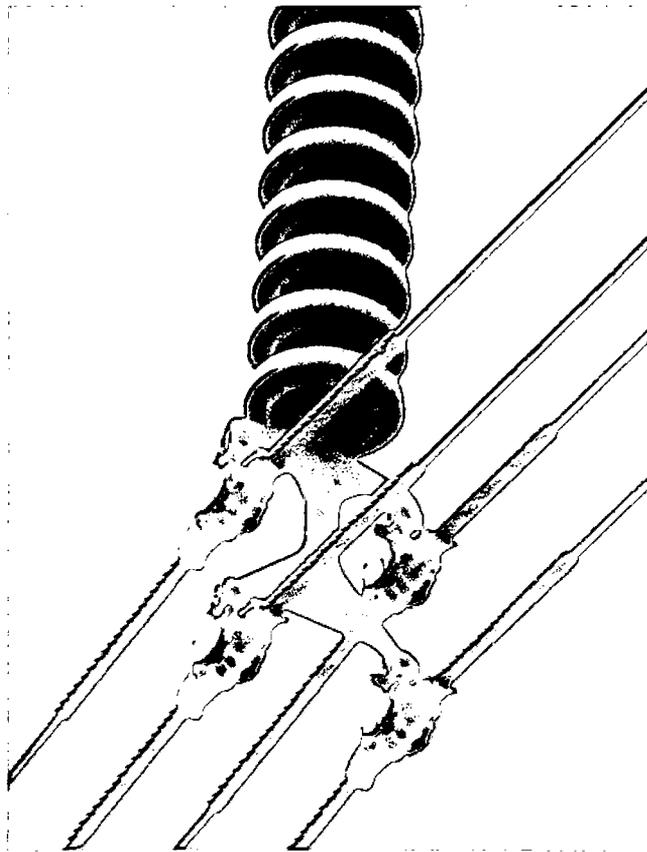
Detalle de aisladores de vidrio templado – SEDIVER 11



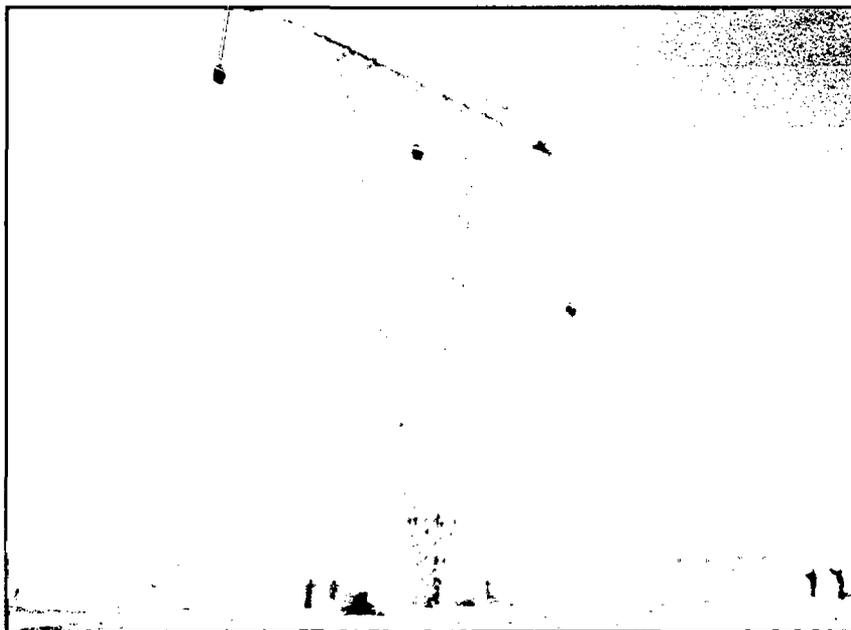
Cadena de aisladores en retención



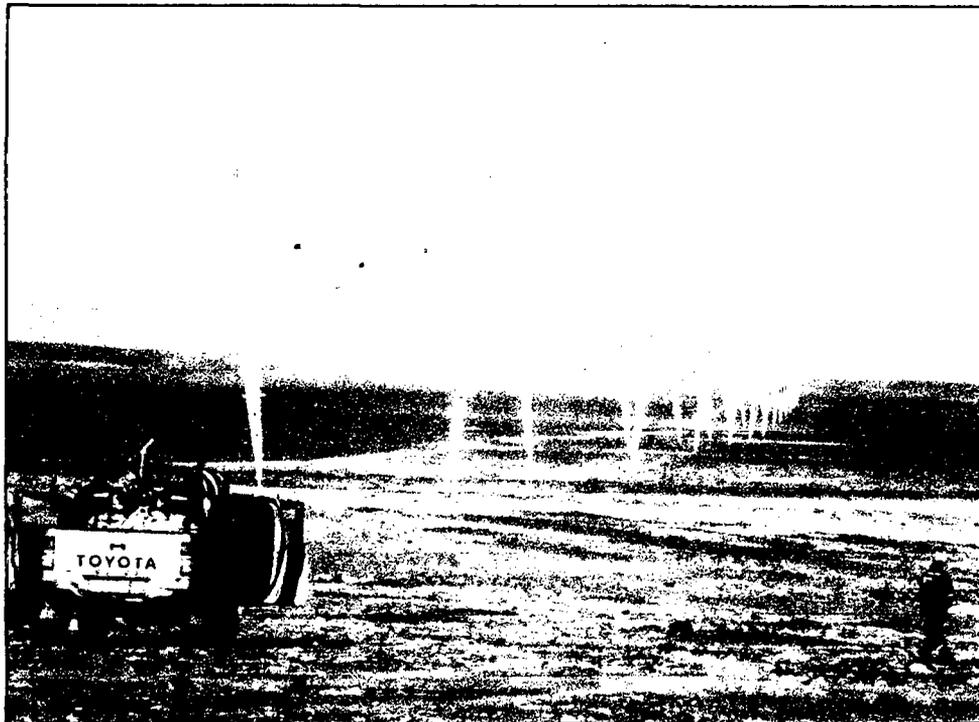
Cadena de aisladores en suspensión



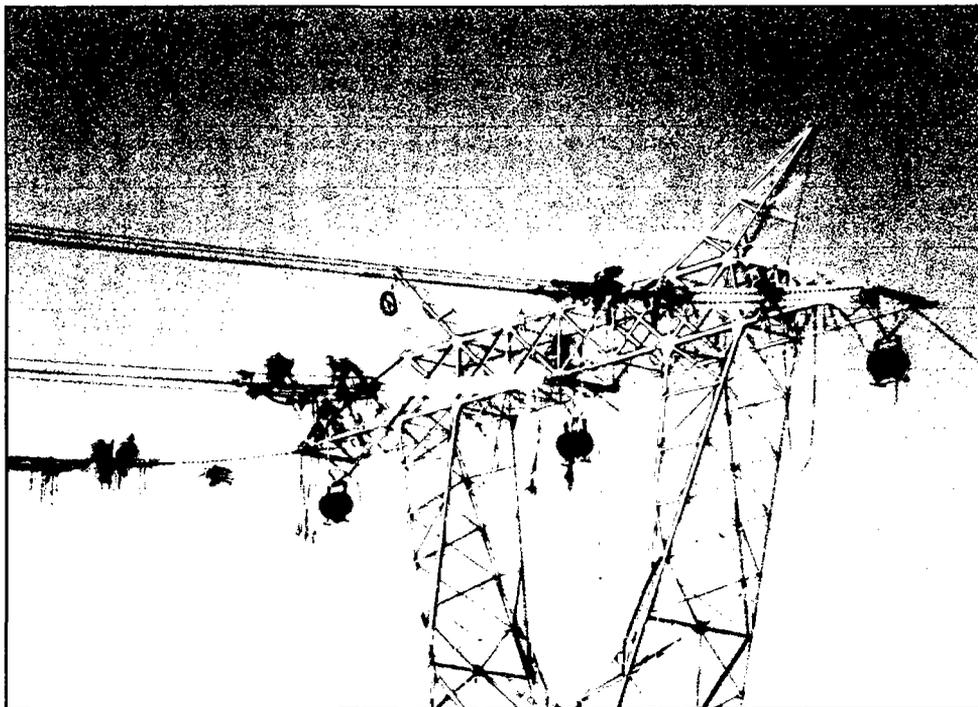
Detalle del grapado del conductor a la cadena de aisladores



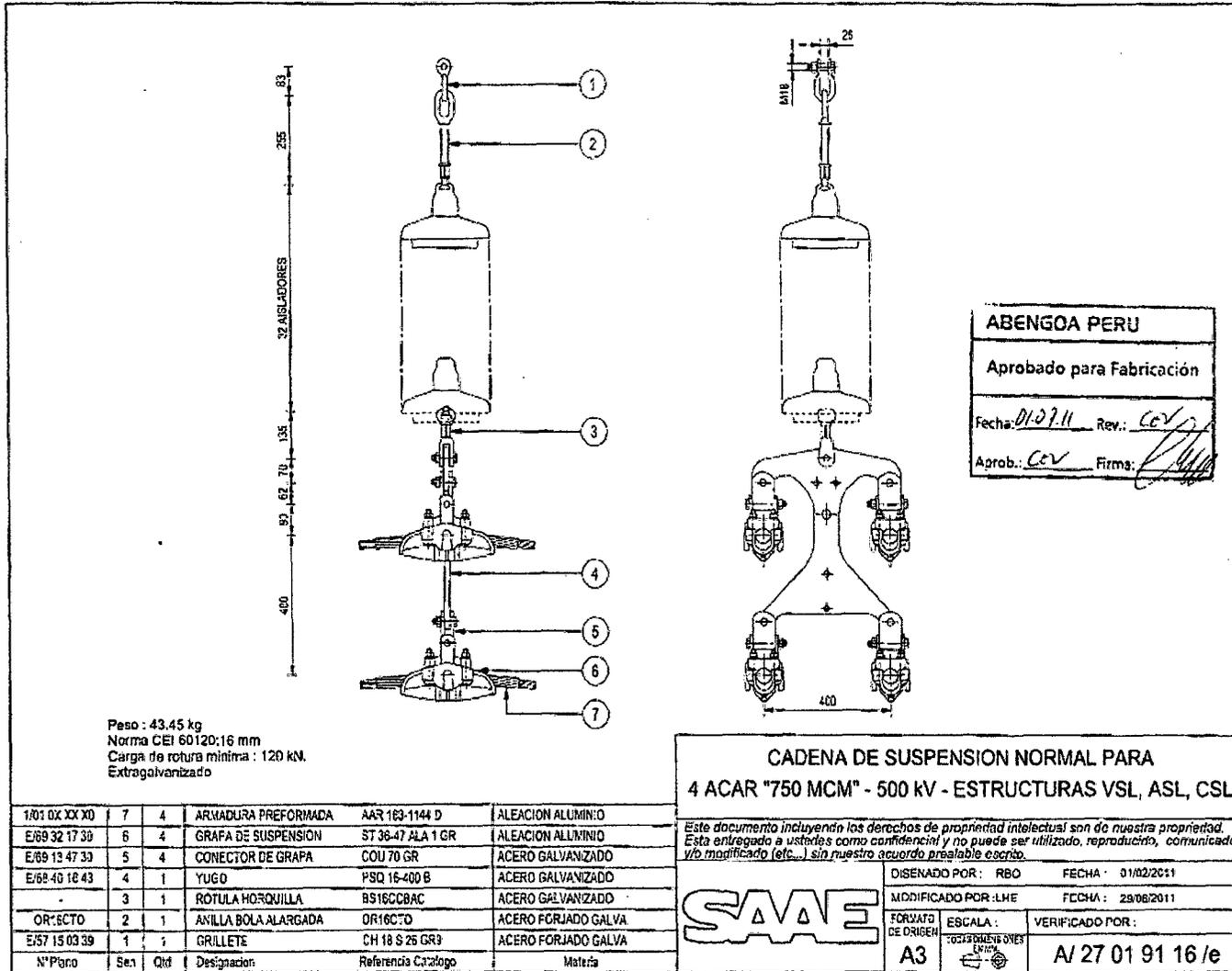
Instalación de cadena de aisladores en suspensión en Torres VSL.

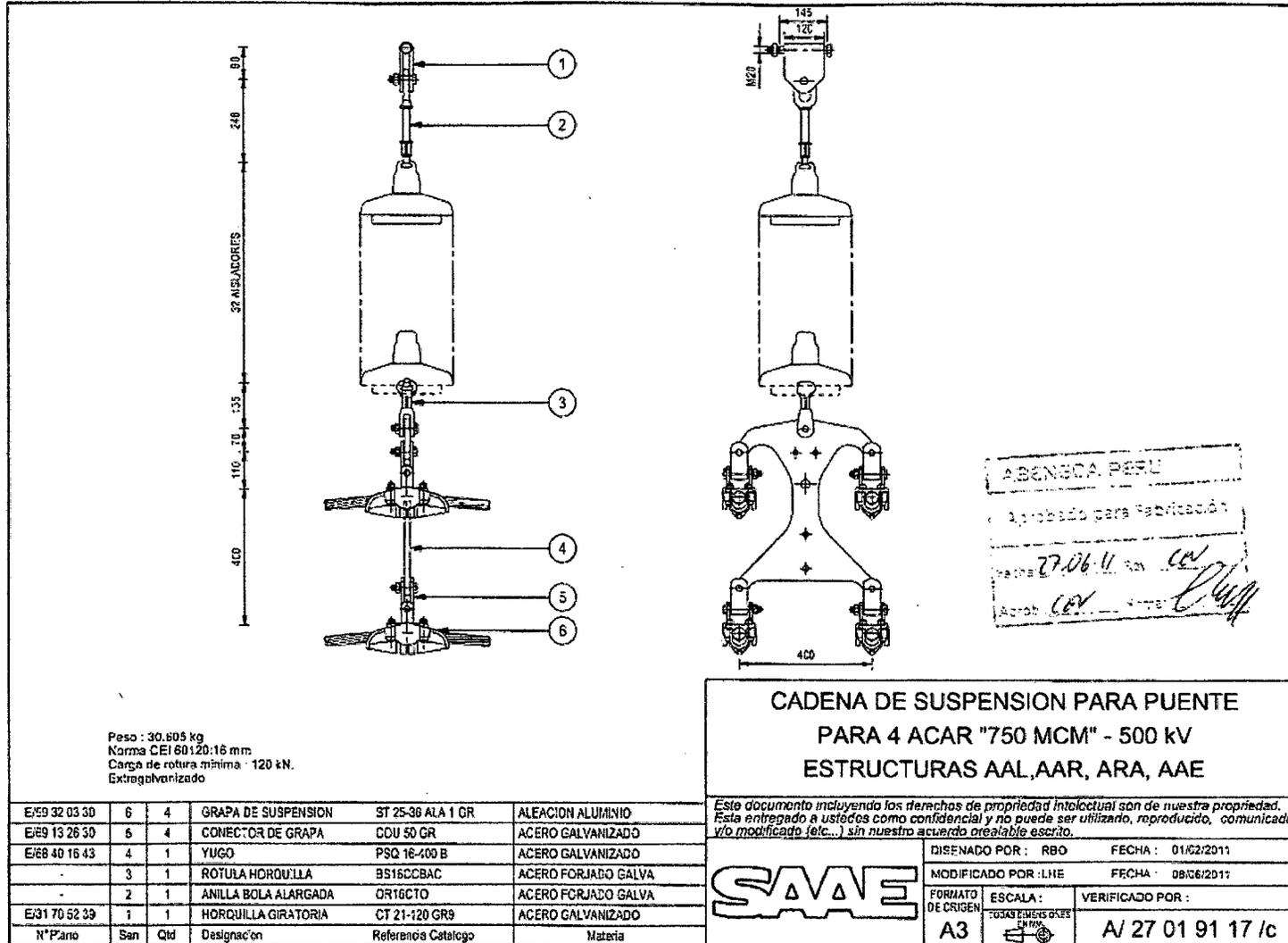


Cadena de aisladores en suspensión en Torres CSL



Instalación de cadenas de anclaje doble en Torres Auto soportadas.





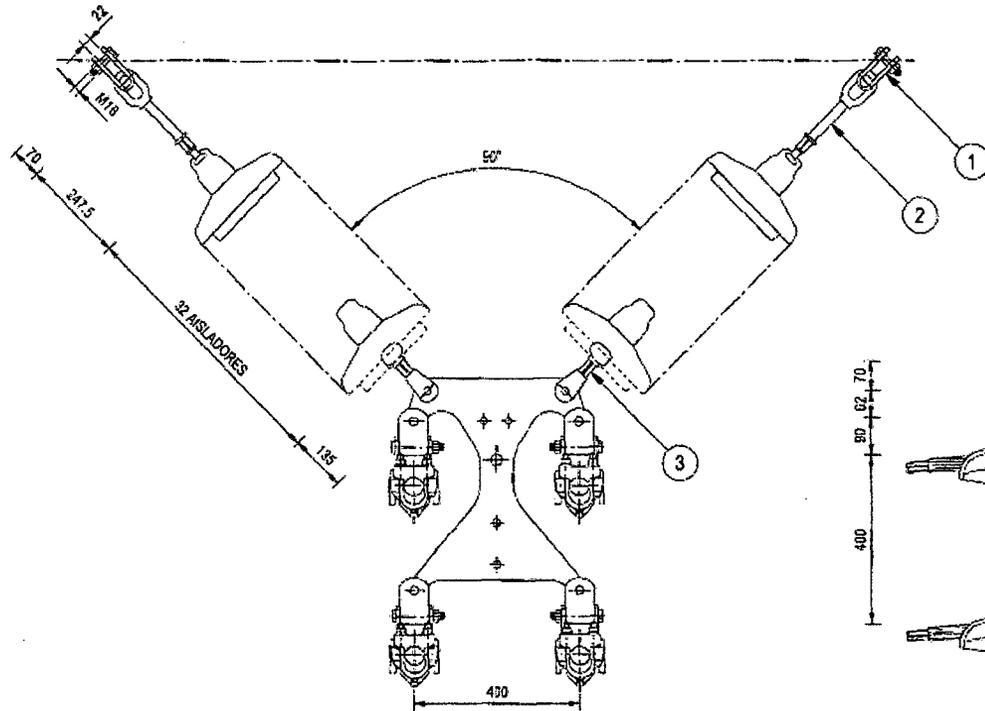
Peso : 30.605 kg
 Norma CEI 60120:16 mm.
 Carga de rotura mínima : 120 kN.
 Extregalvanizado

**CADENA DE SUSPENSION PARA PUENTE
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 KV
 ESTRUCTURAS AAL, AAR, ARA, AAE**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Esta entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

SAAE	DISEÑADO POR: RBO		FECHA: 01/02/2011
	MODIFICADO POR: LNE		FECHA: 09/06/2011
FORMATO DE ORIGEN	ESCALA:	VERIFICADO POR:	
A3	TUSAS EN UNO EN UNO	A/ 27 01 91 17 /c	

E/9 32 03 30	6	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 25-36 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/9 13 26 30	6	4	CONECTOR DE GRAPA	CDU 50 GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 16 43	4	1	YUGO	PSQ 16-400 B	ACERO GALVANIZADO
	3	1	ROTULA HORQUILLA	BS16CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
	2	1	ANILLA BOLA ALARGADA	OR16CTO	ACERO FORJADO GALVA
E/31 70 52 39	1	1	HORQUILLA GIRATORIA	CT 21-120 GR9	ACERO GALVANIZADO
N° Pano	San	Qty	Designación	Referencia Catalogo	Materia



ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 01.07.11 Rev.: CAJ
 Aprob.: CAJ Firma: [Signature]

Peso : 47.2 kg
 Norma CEI 60120:16 m.m
 Carga de rotura minima : 120 kN.
 Extragalvanizado

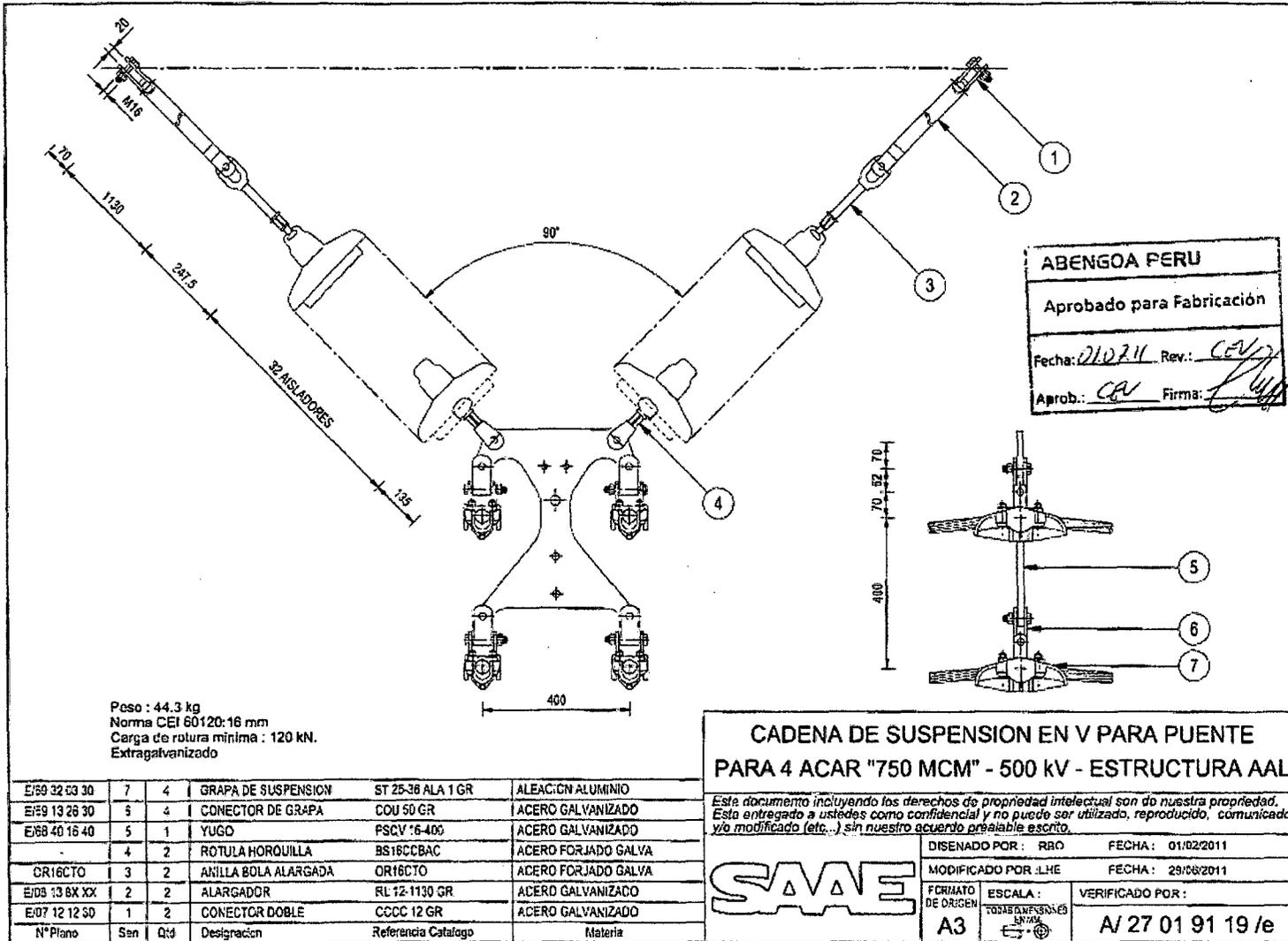
**CADENA DE SUSPENSIÓN EN V
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV - ESTRUCTURA ASL**

1/01 0X XX X0	7	4	ARMADURA PREFORMADA	AAR 163-1144 D	ALEACION ALUMINIO
E/59 32 17 30	6	4	GRAPA DE SUSPENSIÓN	ST 36-47 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/59 13 47 30	5	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 70 GR	ACERO GALVANIZADO
E/83 40 16 40	4	1	YUGO	PSQV 16-400	ACERO GALVANIZADO
-	3	2	ROFULA HCRQU'LLA	BS16CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
OR16CTO	2	2	AN'LLA BOLA ALARGADA	OR16CTO	ACERO FORJADO GALVA
E/07 12 24 30	1	2	CONECTOR DOBLE	CCCC 12 C GR	ACERO GALVANIZADO
N° Placa	Sen	Qty	Designación	Referencia Catálogo	Materia

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Esto entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo preable escrito.

SAFE

DISENADO POR : RBD	FECHA : 01/02/2011
MODIFICADO POR : LHE	FECHA : 29/06/2011
FORMATO DE CROQUIS : A3	ESCALA : 1:1
VERIFICADO POR :	A/27 01 91 18 /e



ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 21/02/11 Rev.: CEV
 Aprob.: CEV Firma: [Signature]

Peso : 44.3 kg
 Norma CEI 60120:16 mm
 Carga de rotura mínima : 120 kN.
 Extragalvanizado

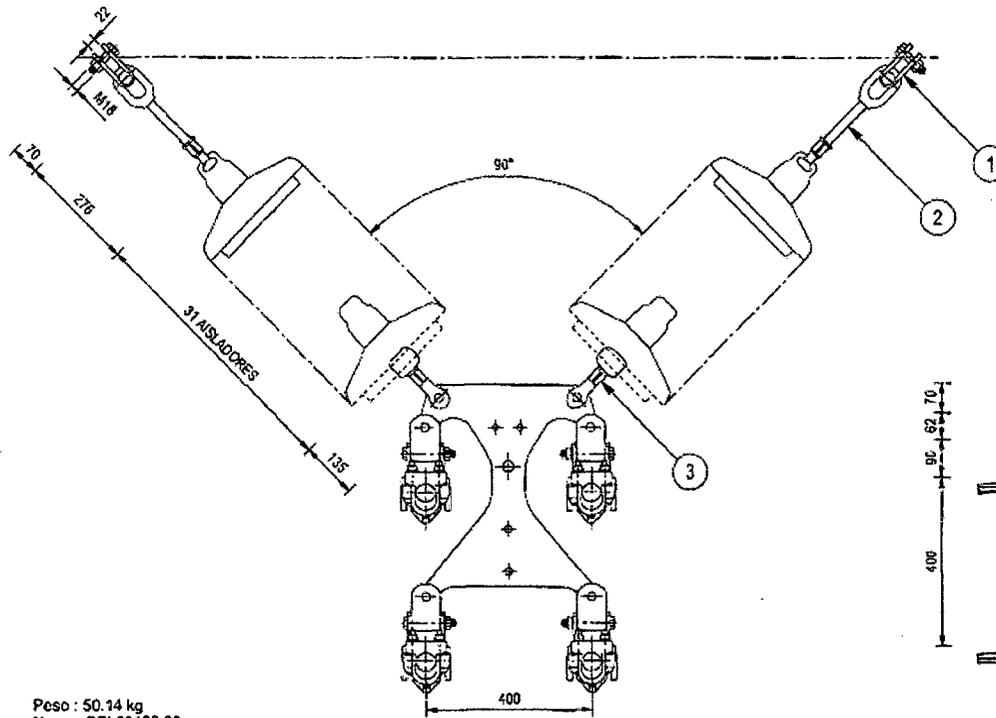
**CADENA DE SUSPENSION EN V PARA PUENTE
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV - ESTRUCTURA AAL**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Esta entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo previsible escrito.

E/89 32 03 30	7	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 25-36 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/59 13 26 30	5	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 50 GR	ACERO GALVANIZADO
E/88 40 16 40	5	1	YUGO	PSCV 16-400	ACERO GALVANIZADO
	4	2	ROTULA HORQUILLA	BS18CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
CR16CTO	3	2	ANILLA BOLA ALARGADA	OR16CTO	ACERO FORJADO GALVA
E/08 13 8X XX	2	2	ALARGADOR	RL 12-1130 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 12 50	1	2	CONECTOR DOBLE	CCCC 12 GR	ACERO GALVANIZADO
Nº Plano	Sen	Qty	Designación	Referencia Catalogo	Materia



DISEÑADO POR :	RBO	FECHA :	01/02/2011
MODIFICADO POR :	LHE	FECHA :	29/08/2011
FORMATO DE ORIGEN	A3	ESCALA :	VERIFICADO POR :
		TOSBAGNANES	A/ 27 01 91 19 /e



REVISADA POR:
 Aprobado para fabricación:
 Fecha: 28/06/11
 Firma: C.E.V.
 Firma: C.E.V.

Peso : 50,14 kg
 Norma CEI 60120:20 mm
 Carga de rotura mínima : 160 kN.
 Extragalvanizado

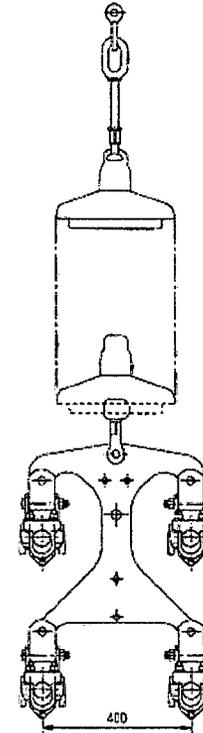
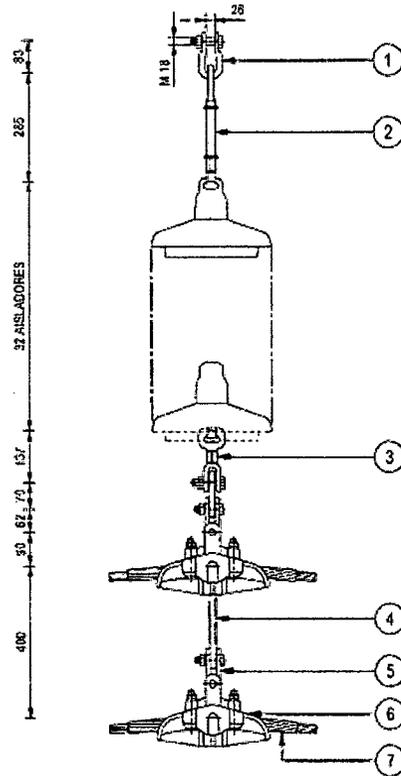
**CADENA DE SUSPENSION EN V
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 KV- ESTRUCTURA ASR**

1/01 0X XX X0	7	4	ARMADURA PREFORMADA	AAR 163-1144 D	ALEACION ALUMINIO
E/69 32 17 30	6	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 36-47 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/69 13 47 30	5	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 70 GR	ACERO GALVANIZADO
E/66 40 16 40	4	1	YUGO	PSQV 16-400	ACERO GALVANIZADO
E/05 06 09 30	3	2	ROTULA HORQUILLA	BSDC 20 GR	ACERO FORJADO GALVA
	2	2	ANILLA BOLA ALARGADA	OR20C20	ACERO FORJADO GALVA
E/07 12 09 30	1	2	CONECTOR DE HORQUILLA	CCCC 19 C GR	ACERO GALVANIZADO
N°Plano	Sen	Qtd	Designación	Referencia Catalogo	Materia

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad.
 Esto entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado
 y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

	DISEÑADO POR: RBO FECHA: 02/02/2011
	MODIFICADO POR: LHE FECHA: 28/06/2011
	FORMATO DE ORIGEN: ESCALA: VERIFICADO POR: A3

A/ 27 01 91 23 /d



Peso : 44.27 kg.
 Norma CEI 60120:20 mm
 Carga de rotura mínima : 160 kN.
 Extragalvanizado

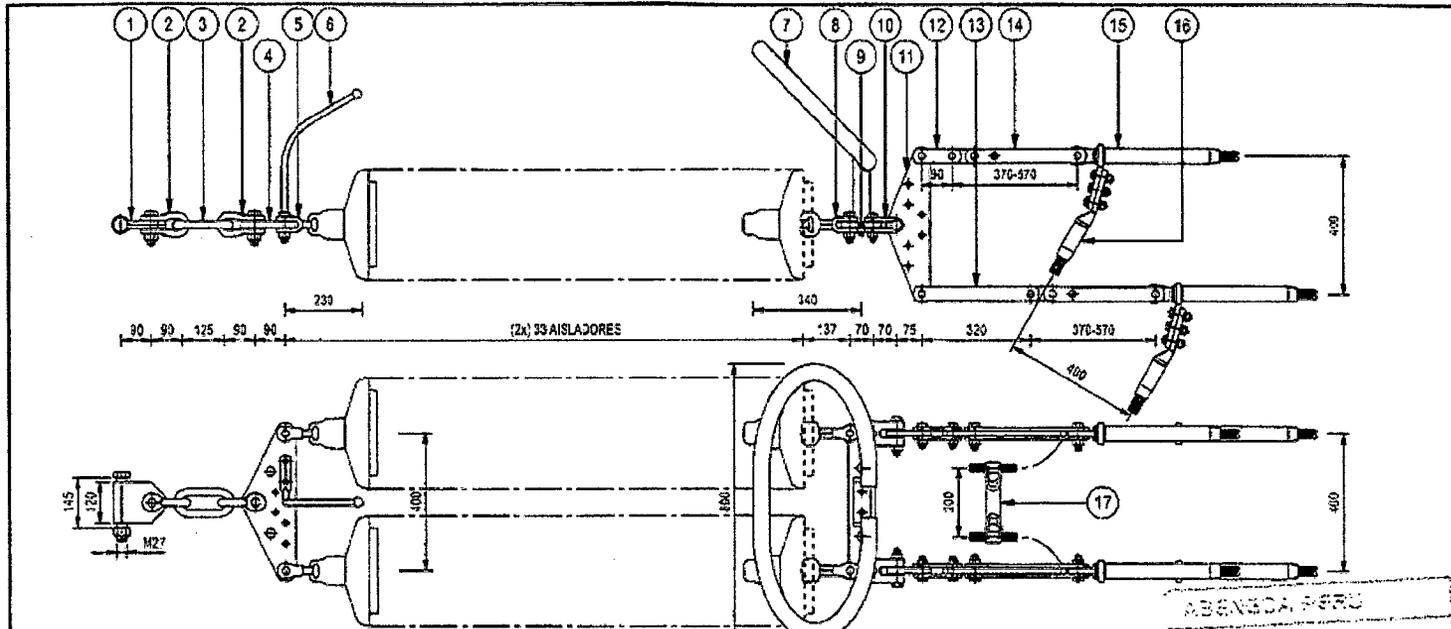
AGENCIA PERU
 Aprobado para Asociación
 Fecha: 27.06.11 Firmado: CEV
 Autor: CEV Firmado: [Signature]

**CADENA DE SUSPENSION NORMAL
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 KV - ESTRUCTURA ASR**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Esta entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

N° Placa	Sen	C:3	Designacion	Referencia Catalogo	Materia
1/01 0X XX XD	7	4	ARMADURA PREFORMADA	AAR 163-1144 D	ALEACION ALUMINIO
E/69 32 17 30	6	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 38-47 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/69 13 47 30	5	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 70 GR	ACERO GALVANIZADO
E/69 40 16 43	4	1	YUGO	PSQ 16-400 B	ACERO GALVANIZADO
E/05 36 36 30	3	1	ROTULA HORQUILLA	BSDC 20 GR	ACERO FORJADO GALVA
-	2	1	ANILLA BOLA ALARGADA	OR20CTD	ACERO FORJADO GALVA
E/57 16 03 39	1	1	GRILLETE	CH 18 S 26 GR9	ACERO FORJADO GALVA

SAE	DISEÑADO POR: RBO		FECHA: 02/02/2011
	MODIFICADO POR: LHE		FECHA: 08/08/2011
FORMATO DE ORIGEN: A3	ESCALA: 1:1	VERIFICADO POR: A/27 01 91 22 lc	



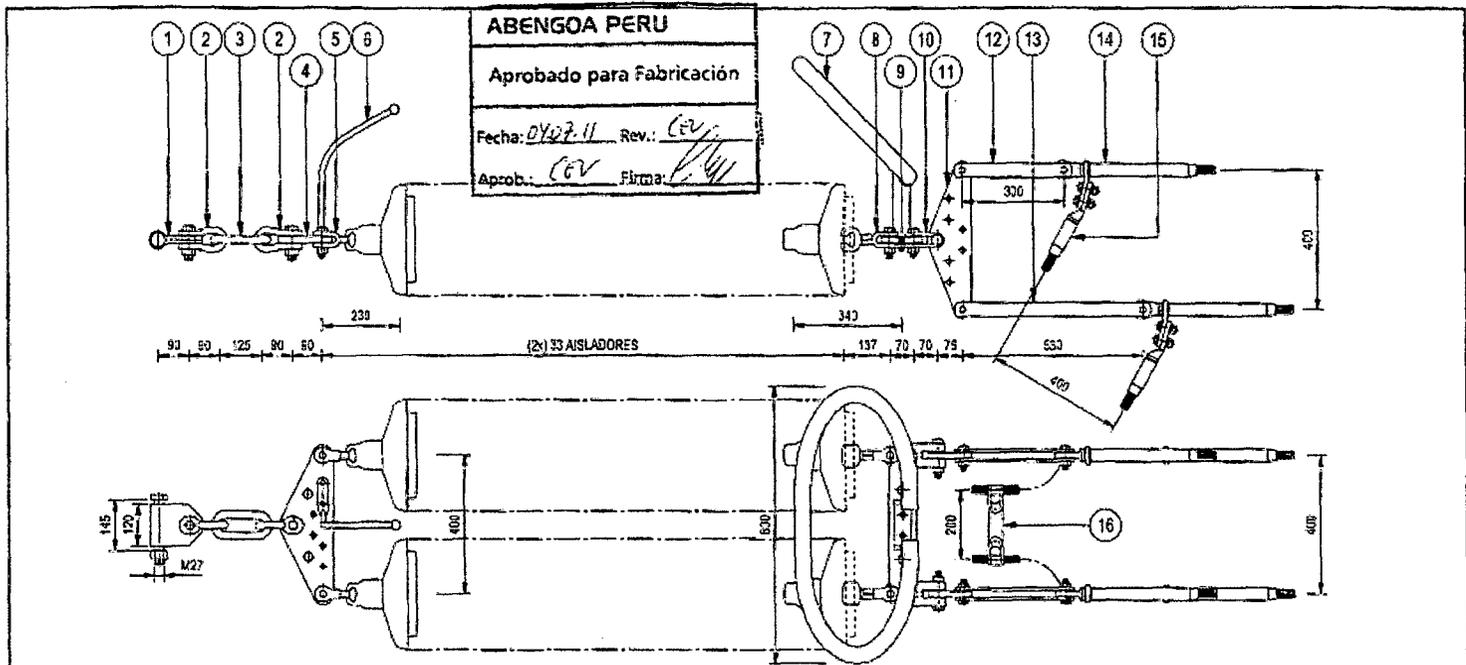
E/29 0Y 90 C0	17	1	ESPACIADOR DOBLE RIGIDO	EN D23-230 GR	ACERO GALVA + ALEAC ALU
-	16	4	TERMINAL+PERNOS	CDAXKACAR7519	ACERO GALVA + ALEAC ALU
-	15	4	MANGUITO DE ANCLAJE	T28KACAR7519 "	ACERO GALVA + ALEAC ALU
E/07 08 68 30	14	4	ALARGADOR EXTENSIBLE	RR 370-570 P20 A GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 33 3X XX	13	2	HCRQUILLA PARALELA	JU 12-320 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 33 3X XX	12	2	HCRQUILLA PARALELA	JU 12-30 GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 19 C1	11	2	YUGO	PTS 16-400	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 09 30	10	2	CONECTOR DE HORQUILLA	CCCC 16 C GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 32 12	9	1	YUGO	PR 32-400	ACERO GALVANIZADO
E/09 06 06 30	8	2	RODILLA HCRQUILLA	B8DC 20 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/01 05 07 30	7	1	RAQUETA SENCILLA	RAQ.S.800-500 P340 GR	ACERO GALVANIZADO
E/03 02 04 XX	6	1	DESCARGADOR SENCILLO	CO 16 PP -230 D26 GR	ACERO GALVANIZADO
E/61 06 09 30	5	2	HCRQUILLA BOLA	OD 201 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/68 40 32 C3	4	1	YUGO	PT 32-400 A	ACERO GALVANIZADO
E/61 17 05 30	3	1	ESLABON	O3 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/57 09 15 30	2	2	GRILLETE	CH 30 GR	ACERO FORJADO GALVA
-	1	1	ENGANCHE OSCILANTE	TT330120B27	ACERO GALVANIZADO
N° Plazo	Ser.	Cid	Designación	Referencia Catalogo	Materia

Peso : 77.59 kg
 Norma CEI 60120:20 mm
 Carga de rotura mínima : 2x160 kN.
 * Carga de rotura mínima = 95% de la carga de rotura del conductor
 Extragalvanizado

**CADENA DE ANCLAJE DOBLE CON TENSOR
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 KV
 ESTRUCTURAS AAL, AAR, ARA, AAE**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Este entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealeble escrito.

SAAE	DISEÑADO POR: RBO	FECHA: 02/02/2011
	MODIFICADO POR: LHE	FECHA: 09/05/2011
FORMATO DE ORIGEN: A3	ESCALA: TODAS DIMENSIONES EN MM	VERIFICADO POR: A/ 27 01 91 26 /e



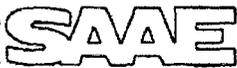
E/29 0Y 60 00	15	1	ESPACIADOR DOBLE RIGIDO	EN D25-200 GR	ACERO GALVA + ALEAC ALU
-	5	4	TERMINAL+PERNOS	CDAXGACAR7519	ACERO GALVA + ALEAC ALU
-	14	4	MANGUITO DE ANCLAJE	T2GKACAR7519*	ACERO GALVA + ALEAC ALU
E/07 33 0X XX	13	2	HORQUILLA PARALELA	JU 12-530 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 33 3X XX	12	2	HORQUILLA PARALELA	JU 12-300 GR	ACERO GALVANIZADO
E/03 40 15 01	11	2	YUGO	PTS 15-400	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 09 30	10	2	CONECTOR DE HORQUILLA	CCCC 15 C GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 32 12	9	1	YUGO	PK 32-400	ACERO GALVANIZADO
E/05 06 05 30	8	2	ROTULA HORQUILLA	BSDC 20 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/01 06 07 30	7	1	RAQUETA SENCILLA	RAQ.S.600-500 P340 GR	ACERO GALVANIZADO
E/03 02 04 XX	6	1	DESCARGADOR SENCILLO	CD 16 PP -230 C26 GR	ACERO GALVANIZADO
E/51 06 09 30	5	2	HORQUILLA BOLA	OD 201 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/68 40 32 C3	4	1	YUGO	PT 32-400 A	ACERO GALVANIZADO
E/51 17 05 30	3	1	ESLABON	O3 GR	ACERO FORJADO GALVA
E/57 09 15 30	2	2	GRILLETE	CH 30 GR	ACERO FORJADO GALVA
-	1	1	ENGANCHE OSCILANTE	TT330126B27	ACERO GALVANIZADO
N° Flan.	Sen	Ctd	Designación	Referencia Catalogo	Materia

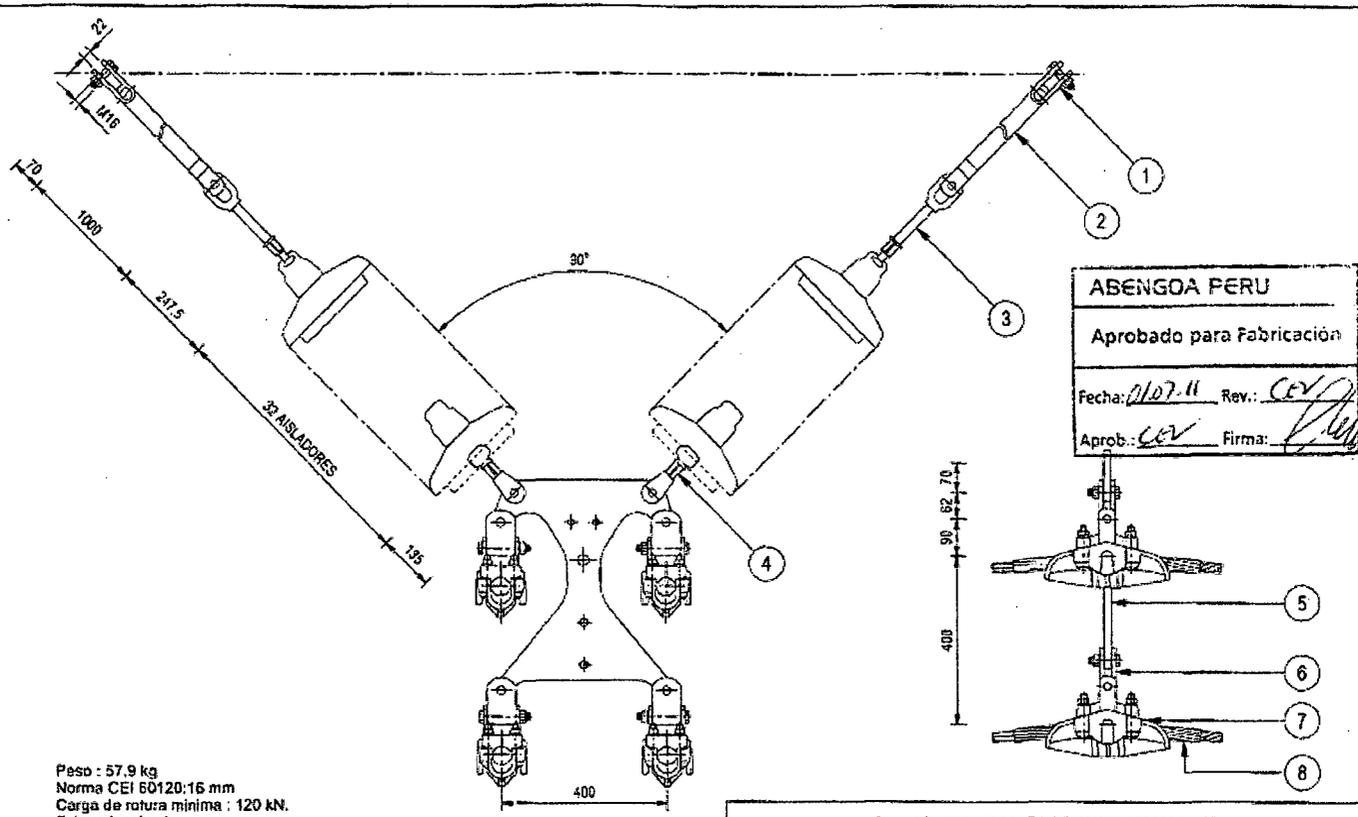
Peso : 68.71 kg
 Norma CEI 60120:20 mm
 Carga de rotura mínima : 2x160 kN.
 * Carga de rotura mínima = 95% de la carga de rotura del conductor.
 Extragalvanizado

CADENA DE ANCLAJE DOBLE PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV ESTRUCTURAS AAL, AAR, ARA, AAE

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Esta entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

DISEÑADO POR : RBO		FECHA : 02/02/2011
MODIFICADO POR : LHE		FECHA : 01/07/2011
FORMATO DE ORIGEN	ESCALA :	VERIFICADO POR :
A3	1:1 (LAS DIMENSIONES EN MM)	A/ 27 01 91 27 /f





ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 21/07-11 Rev.: *CEV*
 Aprob.: *CEV* Firma: *[Signature]*

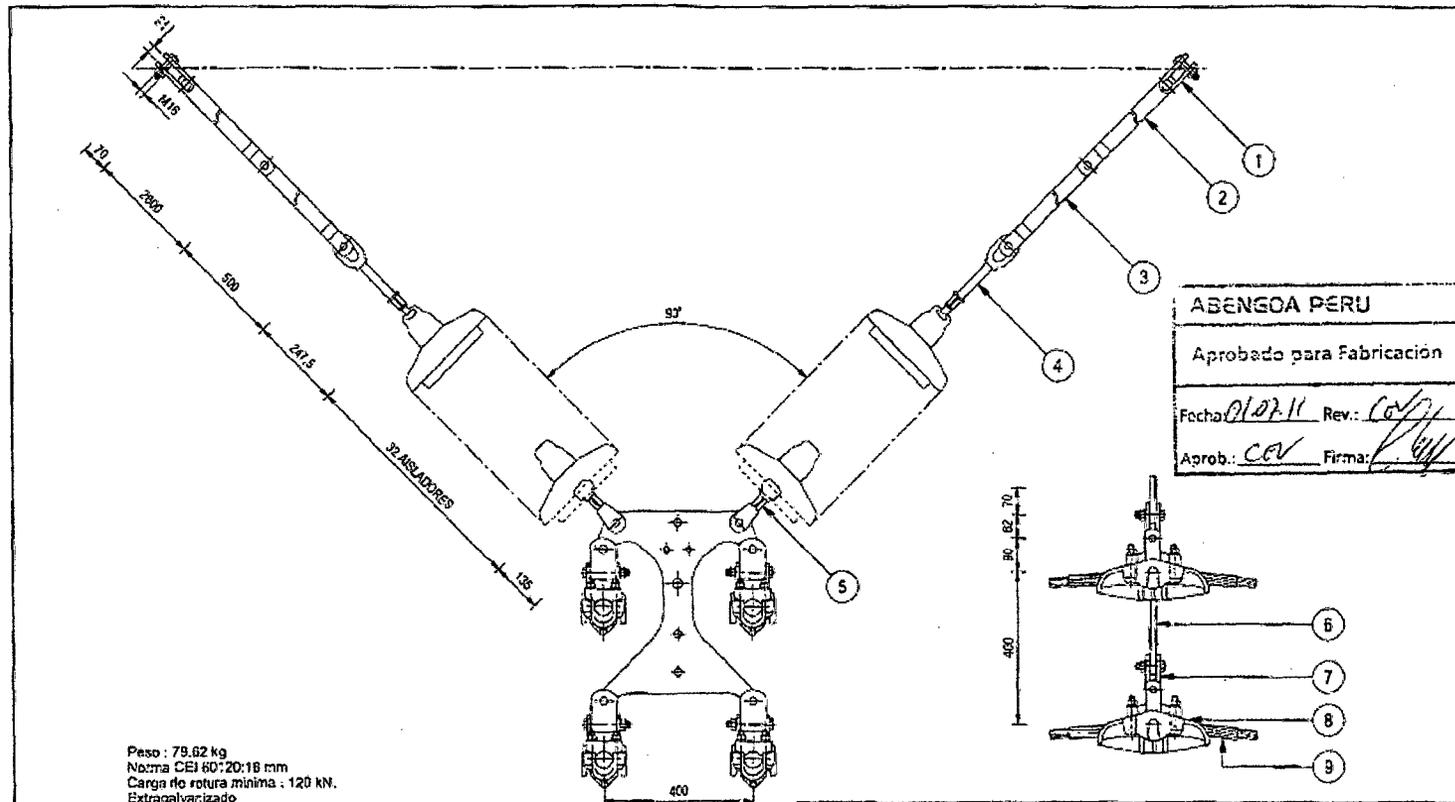
**CADENA DE SUSPENSION EN V
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV - ESTRUCTURA ATS**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Este entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado ni modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

E168 32 17 30	8	4	ARMADURA PREFORMADA	AAR 163-1144 D	ALEACION ALUMINIO
E169 32 17 30	7	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 36-47 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E168 13 47 30	6	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 70 GR	ACERO GALVANIZADO
E168 40 16 40	5	1	YUGO	PSQV 16-400	ACERO GALVANIZADO
-	4	2	ROTULA HORQUILLA	BS16CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
DR16CTO	3	2	ANILLA BOLA ALARGADA	OR:5CTO	ACERO FORJADO GALVA
E168 13 EX XX	2	2	ALARGADOR	RL 12-000 GR	ACERO GALVANIZADO
E107 12 24 30	1	2	CONECTOR DOBLE	CCCC 12 C GR	ACERO GALVANIZADO
N° Plano	Sen	Old	Designacion	Referencia Catalogo	Materia



DISEÑADO POR : RBO		FECHA : 01/02/2011
MODIFICADO POR :LHE		FECHA : 29/06/2011
FORWATC DE ORIGEN	ESCALA :	VERIFICADO POR :
A3	TELECOMUNICACIONES	A/ 27 01 91 51/b



ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 01/02/11 Rev.: 001
 Aprob.: CEV Firma: [Signature]

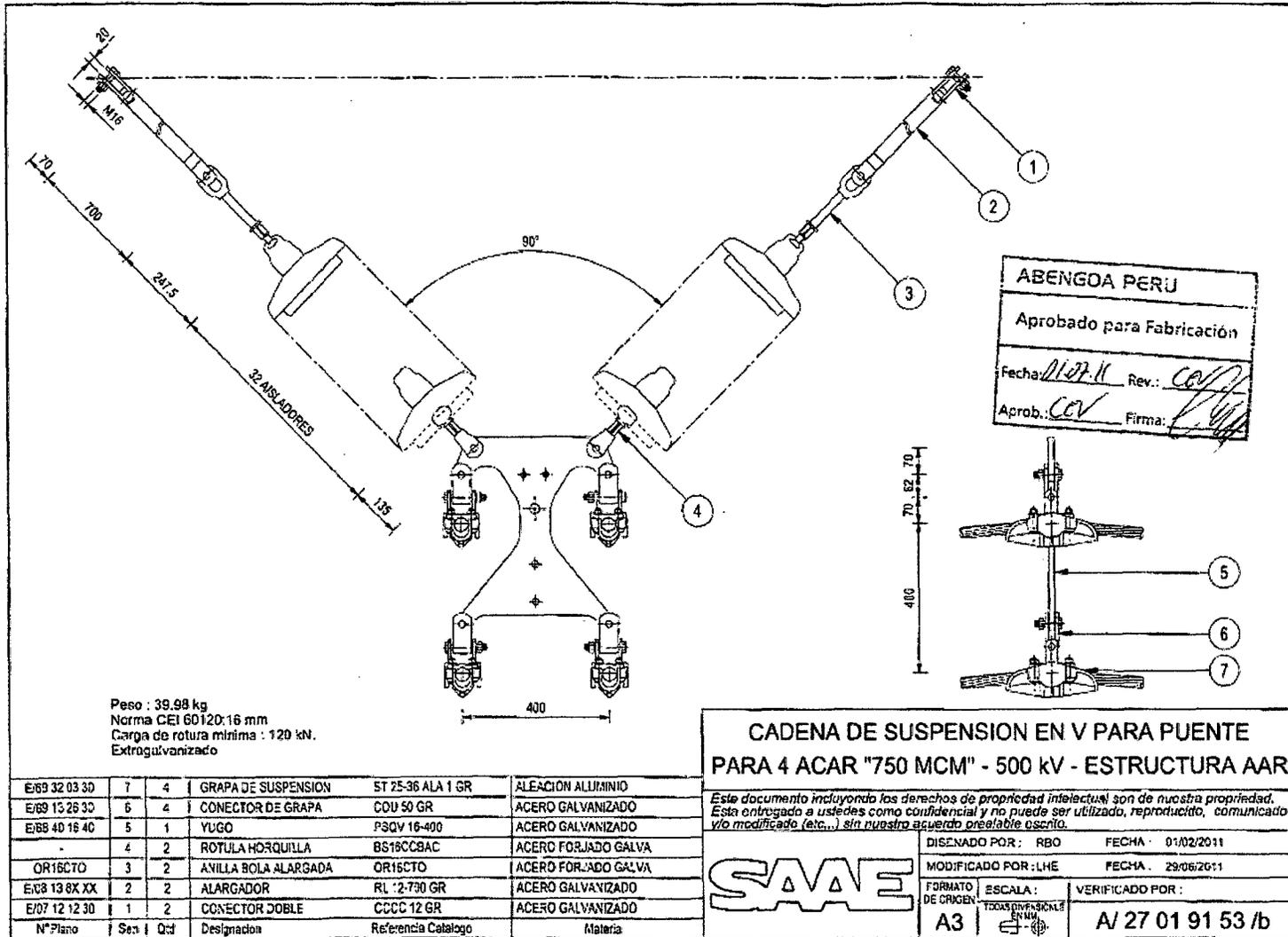
**CADENA DE SUSPENSION EN V
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV - ESTRUCTURA VSL**

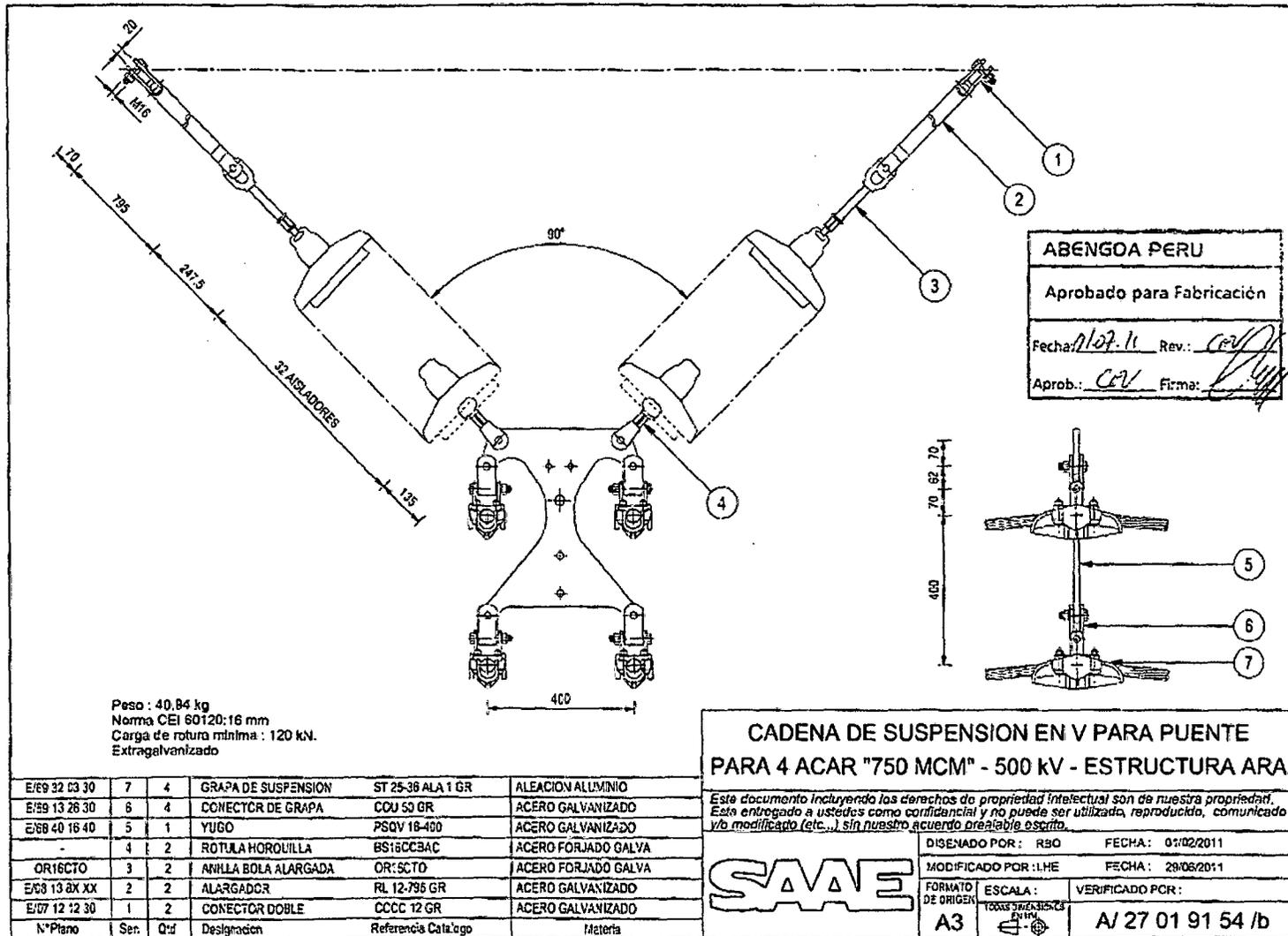
Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Este entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado o modifico (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

N° Plano	Sen	Ctd	Designacion	Referencia Catologo	Materia
1/01 EX XX XD	9	4	ARMADURA PREFORMADA	AAR 163-1144 D	ALEACION ALUMINIO
E/29 32 17 30	8	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 36-47 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/60 13 47 30	7	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 70 GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 16 40	6	1	YUGO	PSQV 16-400	ACERO GALVANIZADO
-	5	2	ROTULA HORQUILLA	BS16CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
OR 16CTO	4	2	ANILLA BOLA ALARGADA	CR:6CTO	ACERO FORJADO GALVA
E/08 13 8X XX	3	2	ALARGADOR	RL 12-500 GR	ACERO GALVANIZADO
E/06 13 8X XX	2	2	ALARGADOR	RL 12-2600 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 24 30	1	2	CONECTOR COBLE	CCCC 12 C GR	ACERO GALVANIZADO

SAE

DISEÑADO POR: RBO		FECHA: 01/02/2011
MODIFICADO POR: LHE		FECHA: 29/06/2011
FORMATO DE ORIGEN: A3	ESCALA: [Symbol]	VERIFICADO POR: [Symbol]
A/ 27 01 91 52/b		





ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 11/07/11 Rev.: *COV*
 Aprob.: *COV* Firma: *[Signature]*

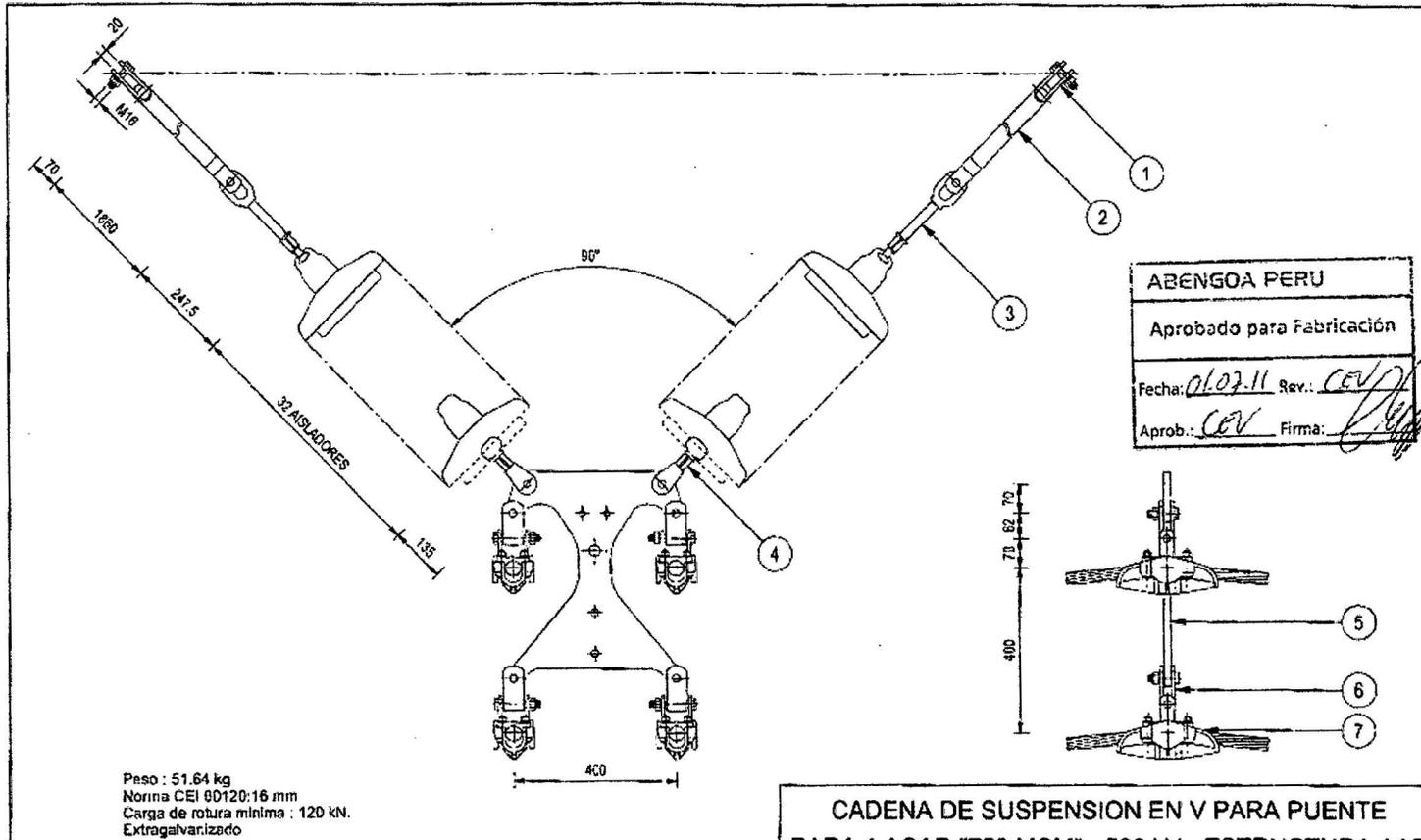
Peso : 40,84 kg
 Norma CEI 60120:16 mm
 Carga de rotura mínima : 120 kN.
 Extragalvanizado

**CADENA DE SUSPENSION EN V PARA PUENTE
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 KV - ESTRUCTURA ARA**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Este entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

SAAE	DISEÑADO POR: RBO		FECHA: 01/02/2011	
	MODIFICADO POR: LHE		FECHA: 28/06/2011	
	FORMATO DE ORIGEN: A3	ESCALA: 10000/3000/3125/25 ENTRADA	VERIFICADO POR: A/27 01 91 54 /b	

N° Plano	Sen.	Qtd	Designación	Referencia Catálogo	Materia
E/69 32 03 30	7	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 25-36 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/59 13 26 30	6	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 50 GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 16 40	5	1	YUGO	PSQV 16-480	ACERO GALVANIZADO
-	4	2	ROTULA HORQUILLA	BS18CC3AC	ACERO FORJADO GALVA
OR16CTO	3	2	ANILLA BOLA ALARGADA	OR:5CTD	ACERO FORJADO GALVA
E/68 13 8X XX	2	2	ALARGADOR	RL 12-795 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 12 30	1	2	CONECTOR DOBLE	CCCC 12 GR	ACERO GALVANIZADO



ABENGOA PERU
 Aprobado para Fabricación
 Fecha: 01.07.11 Rev.: CEV
 Aprob.: CEV Firma: [Signature]

**CADENA DE SUSPENSION EN V PARA PUENTE
 PARA 4 ACAR "750 MCM" - 500 kV - ESTRUCTURA AAE**

Este documento incluyendo los derechos de propiedad intelectual son de nuestra propiedad. Este entregado a ustedes como confidencial y no puede ser utilizado, reproducido, comunicado y/o modificado (etc...) sin nuestro acuerdo prealable escrito.

SAAE

DISEÑADO POR: RBO FECHA: 01/02/2011
 MODIFICADO POR: LHE FECHA: 28/05/2011
 FORMATO DE ORIGEN: A3 ESCALA: 1:1 VERIFICADO POR: [Signature]
 TRANSFORMACIONES: [Symbol]

A/ 27 01 91 55 /b

Nº Piezo	San	Qty	Designacion	Referencia Catálogo	Materia
E/69 32 03 30	7	4	GRAPA DE SUSPENSION	ST 25-36 ALA 1 GR	ALEACION ALUMINIO
E/69 13 26 30	6	4	CONECTOR DE GRAPA	COU 5% GR	ACERO GALVANIZADO
E/68 40 16 40	5	1	YUGO	PSOV 16-400	ACERO GALVANIZADO
-	4	2	ROTULA HORQUILLA	BS16CCBAC	ACERO FORJADO GALVA
OR:16CTO	3	2	ANILLA BOLA ALARGADA	OR:16CTO	ACERO FORJADO GALVA
E/08 13 8X XX	2	2	ALARGADOR	RL 12-1860 GR	ACERO GALVANIZADO
E/07 12 12 30	1	2	CCNECTOR DCBLE	CCCC 12 GR	ACERO GALVANIZADO