

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**CRUCETAS Y MÉNSULAS DE COMPUESTO POLIMÉRICO PARA  
REDES AÉREAS DE MEDIA TENSIÓN**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**MARLITON LUIS SALINAS ROSALES**

**PROMOCIÓN  
1998 - II**

**LIMA – PERÚ  
2006**

**CRUCETAS Y MÉNSULAS DE COMPUESTO POLIMÉRICO PARA REDES AÉREAS  
DE MEDIA TENSIÓN**

***Dedico este trabajo a:  
Mis padres Hermelinda y Adriano, por su dedicación y apoyo incondicional,  
Rocío, por su amor y paciencia, y  
A Jimena por la felicidad que me brinda aun antes de nacer***

## **SUMARIO**

Como parte de la mejora continua de su gestión, las empresas eléctricas de distribución revisan constantemente los costos asociados a sus inversiones, costos de operación y costos de mantenimiento, cumpliendo un rol muy importante la tecnología de los equipos y materiales utilizados en sus instalaciones eléctricas. Por lo tanto, la búsqueda de materiales con características especiales siempre es un tema recurrente cuando se trata de conseguir reducciones significativas en dichos costos.

En el presente informe, se analizan las características técnicas y las ventajas en la instalación, operación y mantenimiento del uso alternativo de ménsulas y crucetas de compuesto polimérico en redes aéreas de media tensión.

Como resultado del análisis, se determina que estos materiales tienen mejores características mecánicas y eléctricas que los del tipo madera y concreto, reducen los riesgos asociados a los trabajos de instalación y mantenimiento, disminuyen las probabilidades de falla por caídas de conductor durante condiciones climáticas adversas, tienen alta resistencia a la degradación medioambiental, pueden alcanzar altos niveles de aislamiento equivalentes a sistemas de alta tensión y su alta resistividad les permite comportarse como muy buenos aisladores.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I CRUCETAS Y MÉNSULAS DE CONCRETO Y MADERA</b>	<b>4</b>
1.1    Introducción	4
1.2    Crucetas y ménsulas de madera	4
1.2.1.    Condiciones ambientales	5
1.2.2.    Procedencia y fabricación	6
1.2.3.    Designación	6
1.2.4.    Características mecánicas	6
1.2.5.    Características eléctricas	7
a)    Conductividad eléctrica	7
b)    Aislamiento eléctrico	8
1.3    Crucetas y ménsulas de concreto	9
1.3.1.    Condiciones ambientales	10
1.3.2.    Procedencia y fabricación	10
1.3.3.    Designación	10
1.3.4.    Características mecánicas	11
1.3.5.    Características eléctricas	11
<b>CAPÍTULO II CRUCETAS Y MÉNSULAS POLIMÉRICAS</b>	<b>13</b>
2.1.    Introducción	13
2.2.    Descripción	13
2.2.1.    Crucetas poliméricas	13
2.2.2.    Ménsulas poliméricas	15
2.3.    Características físicas	16
2.3.1.    Flexibilidad	16
2.3.2.    Durabilidad	16
2.3.3.    Seguridad	16
2.3.4.    Mínimo mantenimiento	16
2.4.    Características mecánicas	16
2.5.    Características eléctricas	17
2.5.1.    Conductividad eléctrica	17
2.5.2.    Aislamiento eléctrico	18
a)    Prueba al Impulso tipo Rayo	18

b)	Prueba AC a Frecuencia Industrial	18
<b>CAPÍTULO III ANÁLISIS COMPARATIVO</b>		<b>19</b>
3.1.	Introducción	19
3.2.	Comparación física.	19
3.3.	Comparación mecánica.	20
3.4.	Comparación eléctrica.	21
3.5.	Comparación económica	23
3.5.1.	Modelos de armados	24
3.5.2.	Comparación de costos directos	26
<b>CAPÍTULO IV APLICACIÓN</b>		<b>28</b>
4.1.	Experiencia nacional	28
4.2.	Experiencia internacional	28
4.3.	Propuesta de aplicación	28
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>30</b>
<b>ANEXO A PRUEBAS MECÁNICAS EPRI</b>		<b>32</b>
<b>ANEXO B PRUEBAS ELÉCTRICAS AEP</b>		<b>38</b>
<b>ANEXO C PRUEBAS DE IMPULSO TIPO RAYO EPRI</b>		<b>41</b>
<b>ANEXO D DETALLE EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>		<b>52</b>
<b>ANEXO E TÉRMINOS USUALES</b>		<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>60</b>

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

Durante el año 2004 las inversiones eléctricas realizadas por las empresas de distribución eléctricas públicas y privadas ascendieron a US\$ 90,14 millones y la inversión ejecutada por la Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP) en el Plan de Electrificación Rural fue de US\$ 39,08 millones [1]. A su vez, durante el mismo ejercicio los gastos en personal y servicios de terceros (incluyendo contratistas) representaron S/. 489,29 millones [2].

Estas cifras brindan una idea del nivel de las inversiones realizadas principalmente en redes de distribución M.T., redes de distribución B.T. y subestaciones de distribución MT/BT. Respecto a los montos relacionados con el personal y servicios de terceros, nos dan un panorama del nivel de gasto realizado en actividades directamente relacionadas con las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos de distribución.

Asimismo, las inversiones y los gastos en operación y mantenimiento de las empresas distribuidoras, son reconocidas por la legislación vigente en la tarifa a usuario final. Este reconocimiento se realiza a través del Valor Agregado de Distribución (VAD) que incluye entre otros a los costos estándares de inversión, operación y mantenimiento de una empresa modelo eficiente.

En cuanto a los costos estándares de inversión, los mismos se basan en modelos de red y subestaciones que se sustentan en tipos de materiales y cantidades por kilómetro de red o unidad de subestación. A su vez, los costos reconocidos de operación y mantenimiento (COyM) se relacionan directamente con las actividades realizadas de manera eficiente por la empresa modelo en sus redes y subestaciones.

Otro aspecto importante es la calidad del servicio. La legislación actual establece que los servicios regulados de las empresas eléctricas de distribución deben brindarse con ciertos niveles mínimos de calidad establecidos por la misma legislación [3].

Por lo tanto, el modelo actual de tarifas obliga a las empresas distribuidoras a gestionar de manera óptima sus inversiones y COyM a efectos de conseguir el reconocimiento de sus costos en el VAD y un servicio con niveles aceptables de calidad.

Una manera de alcanzar los objetivos descritos es utilizar materiales de tecnologías que permitan un óptimo compromiso entre su calidad técnica, el precio de compra, su costo de instalación, los gastos en su operación y mantenimiento y los beneficios asociados al mejoramiento de la calidad del servicio.

Precisamente, este informe recoge la propuesta anterior para proponer crucetas y ménsulas poliméricas como componente importante de las redes aéreas de distribución MT, analizando sus principales características técnicas y presentando sus beneficios relacionados directamente con la calidad del servicio eléctrico.

### **Objetivos del Informe**

El informe tiene por objetivo analizar las características técnicas y las ventajas en la instalación, operación y mantenimiento del uso alternativo de ménsulas y crucetas de compuesto polimérico en redes aéreas de media tensión.

En cuanto a los aspectos técnicos, el informe se limita a analizar las características físicas, mecánicas y eléctricas del material basado en pruebas EPRI y AEP.

Las características y ventajas encontradas se comparan respecto a las alternativas de ménsulas y crucetas de concreto y madera utilizadas actualmente en redes de media tensión del Perú.

Asimismo, no obstante que la experiencia internacional cubre una gran variedad de países, la experiencia local se refiere de manera puntual a instalaciones pertenecientes a empresas de distribución eléctrica de la ciudad de Lima.

En base a los resultados del análisis, se efectúa una propuesta para el uso de crucetas y ménsulas poliméricas en redes aéreas de distribución M.T.

### **Estructura del Informe**

El documento está dividido en cinco capítulos y conclusiones que describen el análisis desarrollado y los resultados obtenidos. Consta de cinco anexos que incluyen los procedimientos seguidos y los resultados alcanzados durante las pruebas mecánicas y eléctricas ejecutadas por EPRI y AEP.

El capítulo I presenta a las crucetas de concreto y madera, las cuales son de uso actual en las redes de distribución eléctrica M.T. en Perú. El capítulo describe las características físicas, mecánicas (cargas de trabajo), eléctricas (conductividad y aislamiento) y presenta las condiciones de fabricación.

Al respecto, las propiedades de las crucetas y ménsulas de madera y concreto se describen en base a la normatividad nacional e internacional, considerando los códigos nacionales de electricidad, la normatividad emitida por la Dirección General de

Electricidad (DGE) del Perú y estudios realizados sobre el comportamiento mecánico y eléctrico de los materiales. El objetivo de este capítulo es resumir las propiedades físicas y las características mecánicas y eléctricas mínimas que deben cumplir las crucetas y ménsulas de concreto y madera.

El capítulo II presenta la propuesta de crucetas y ménsulas de material polimérico. En el capítulo se analizan sus características físicas, mecánicas y eléctricas, se describen de manera general los procedimientos seguidos durante las pruebas realizadas por el Electric Power Research Institute (EPRI) y la American Electric Power (AEP) y se analizan sus ventajas en su instalación, operación y mantenimiento. En este capítulo se confirma el cumplimiento de las exigencias mínimas de la normatividad nacional e internacional de los materiales propuestos.

En el capítulo III se realiza el análisis comparativo de las crucetas y ménsulas de concreto, madera y poliméricas. El análisis técnico-económico se realiza de manera cualitativa y cuantitativa.

El capítulo IV describe la aplicación de las crucetas y ménsulas poliméricas, presenta la experiencia nacional e internacional en su uso y las razones que sustentan la propuesta de aplicación o uso en zonas específicas de la costa, sierra y selva.

Finalmente el informe presenta las principales conclusiones a las que se llega como resultado del análisis comparativo.

# **CAPÍTULO I**

## **CRUCETAS Y MÉNSULAS DE CONCRETO Y MADERA**

### **1.1 Introducción**

Actualmente, las especificaciones técnicas de las empresas eléctricas de distribución sólo consideran el uso de crucetas y ménsulas del tipo madera y concreto para sus redes aéreas M.T. de 10 kV a 22,9 kV. Asimismo, la normatividad DEP aplicable a las líneas y redes primarias ejecutadas como parte del Plan de Electrificación Rural, sólo considera crucetas y ménsulas de madera, las cuales pueden ser de procedencia nacional o internacional.

Este capítulo describe los requerimientos físicos que deben cumplir, el tipo, composición, dimensiones, los esfuerzos mecánicos que deben soportar y las características eléctricas de las crucetas y ménsulas de concreto y madera.

Al respecto, se toman como referencia las normas DGE sobre el suministro y diseño de Líneas y Redes Primarias para Electrificación Rural ejecutadas por la DEP [4][5], el Código Nacional de Electricidad Tomo IV [6], el nuevo Código Nacional de Electricidad – Suministro [7] e investigación relacionada con el estándar IEEE 1410 [9][10][11]

Se presentan las características técnicas comunes para los tres tipos de crucetas, dejando el detalle de fabricación y el tema de inspección, los cuales son mejor explicados en las normas de referencia.

### **1.2 Crucetas y ménsulas de madera**

La normatividad DGE [4] describe a las crucetas y ménsulas de madera como piezas de madera aserrada y cepillada de forma de paralelepípedo o escuadría, longitud, sección transversal y perforaciones especificadas destinadas a sostener líneas aéreas. Asimismo, se requiere que la madera sea de primer corte y densidad selecta.

Un dato importante de la norma se refiere a los defectos prohibidos en las crucetas de madera, los cuales se pueden interpretar como características a las cuales están propensas las crucetas de este material, algo muy importante cuando se compara con las de material polimérico. Este tema también es considerado en el Código Nacional de Electricidad tomo IV [6], según el cual la madera debe tener la fibra recta y sana,

debidamente descortezada y seca y no debe presentar grietas longitudinales o radicales, nudos viciosos; torceduras excesivas, ni indicios de ataque de termes.

Al respecto, la tabla 1.1 presenta la relación de prohibiciones consignadas en la norma DGE y que abarca el amplio espectro de posibles defectos.

Si bien es cierto los defectos pueden generarse en el origen y fabricación de las crucetas, sin embargo algunos de ellos como los indicados en los ítems 1, 4 y 5 son un peligro latente y causas principales en la reducción de la vida útil de este material, al generar pérdida de resistencia mecánica, ablandamiento y desintegración.

**Tabla N° 1.1** Prohibiciones en crucetas y ménsulas de madera

Item	Prohibiciones
1	Rajaduras transversales o fracturas
2	Nudos con podredumbre de madera
3	Madera de tensión
4	Pudrición por hongos xilófagos
5	Daños por insectos con galerías u orificios en racimo
6	Nudos agrupados
7	Baja densidad o madera quebradiza
8	Acebolladuras
9	Aristas con cantos vivos
10	Presencia de nudos en las aristas
11	Presencia de médula

Fuente: Numeral 4.3, norma DGE [4]

### 1.2.1. Condiciones ambientales

Se establecen las siguientes condiciones ambientales para la instalación de crucetas de madera:

- Altitud sobre nivel del mar : hasta 4500 m.
- Humedad relativa : 50 a 95%
- Temperatura ambiente : -15 °C a 30 °C
- Precipitación pluvial : moderada a intensa

Comparando el valor de la temperatura especificada con los datos de temperaturas medias peruanas, se puede deducir preliminarmente que las crucetas de madera se pueden instalar en cualquier zona del Perú. Sin embargo, en zonas de selva baja la temperatura media puede alcanzar los 31 °C y en ciudades como Iquitos, Moyobamba y Pucallpa la temperatura puede llegar hasta 38 °C, muy por encima de la temperatura especificada [12].

### 1.2.2. Procedencia y fabricación

Las crucetas de madera especificadas pueden ser de procedencia nacional o importada. Las de procedencia nacional deben ser del tipo tornillo rojo y las importadas del tipo Coastal Douglas fir.

En ambos casos, los materiales deben ser preservados por el método al vacío-presión utilizando Sales hidrosolubles cupro-cromo-arsenicales-CCA-C (ITINTEC 251.060) o pentaclorofenol al 5% en el caso de las crucetas importadas (norma AWWA C25-95).

En cuanto a las tolerancias de longitud, la norma admite un máximo de +/- 3mm en el lado mayor de la sección y hasta +/- 2mm en el lado menor medidos a la mitad y en los extremos. Asimismo, la longitud de la cruceta no puede tener un desviación de +/- 6mm respecto a la longitud especificada. Finalmente, las crucetas deben ser perforadas en el lado superior a 100mm y en la cara lateral a 150mm desde el final y en el punto pedio de la cruceta.

### 1.2.3. Designación

Las crucetas y ménsulas de madera se designan por su longitud y las dimensiones de su sección transversal, es decir  $(L_n) \times (h) \times (b)$ , donde  $L$  es la longitud total de la cruceta o ménsula,  $h$  y  $b$  son las dimensiones de la sección transversal (ver figura 1.1).



**Figura 1.1** Esquema dimensional de crucetas de madera

### 1.2.4. Características mecánicas

Las características mecánicas normalizadas para las crucetas de madera se presentan en la tabla 1.2. El valor de la carga de trabajo vertical ( $R_y$ ), se obtiene dividiendo la carga de trabajo vertical de rotura ( $R_{yr}$ ) entre 4, que es el coeficiente de seguridad especificado en la norma DGE [5]. A su vez,  $R_{yr}$  se calcula aplicando la ecuación (1.1).

$$R_{yr} = \frac{R_c \cdot b \cdot h^2}{6 \cdot Bc} \quad (1.1)$$

Donde:

R<sub>y</sub> es la carga vertical de rotura

R<sub>c</sub> es el esfuerzo de rotura a la flexión.

B<sub>c</sub> es el brazo de la cruceta sometido a flexión, B<sub>c</sub> = L<sub>n</sub>/2

**Tabla N° 1.2 Características mecánicas de crucetas de madera**

Item	Característica	Unidad	Valor	
			Según procedencia	
			Nacional	Importado
1	Especie Forestal		Tornillo	Douglas Fir Coastal
2	Esfuerzo de Rotura a la Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	510	541
3	Módulo de Elasticidad	kg/cm <sup>2</sup>	100 980	110 160
4	Esfuerzo de Compresión Paralela al Grano	kg/cm <sup>2</sup>	283	266
5	Esfuerzo de Compresión perpendicular al grano	kg/cm <sup>2</sup>	57	27
6	Cizallamiento	kg/cm <sup>2</sup>	81	63
7	Carga de trabajo vertical (R <sub>y</sub> )	kg	Item9/Item8	Item9/Item8
8	Coefficiente de seguridad		4	4
9	Carga de trabajo vertical de rotura (R <sub>yr</sub> )	kg	Ec. 1.1	Ec. 1.1

Fuente: Elaborado en base a tabla 10 de ETS-LP-04 y ETS-LP-05 de norma DGE [4]

### 1.2.5. Características eléctricas

#### a) Conductividad eléctrica

La resistividad de la madera o su inversa la conductividad, dependen principalmente de cuatro factores: Humedad, contenido de sales solubles, temperatura y dirección de la corriente aplicada [8].

La humedad es el factor más influyente en la resistividad, tal que para humedades comprendidas desde 0 a 30% la conductividad se multiplica aproximadamente por 10<sup>6</sup>. La ecuación (1.2) determinada por Nusser, expresa la relación entre la resistividad de la madera con la humedad y es utilizada como base por los Xilohigrometro de resistencia que calculan el grado de humedad de la madera en base al valor medido de resistividad. La ecuación de Nusser es suficientemente fiable para humedades del 8 al 18%.

$$\rho = .1,78 * 10^{13} * e^{-0,736h} \quad (1.2)$$

Donde:

$\rho$  es la resistividad del material de la cruceta o ménsula (ohm-m)

h es la humedad relativa de la cruceta

Asimismo, contenidos altos de sales solubles cuando el grado de humedad supera el 10% a 12%, incrementan notablemente la conductividad. En ese sentido, los postes,

crucetas y ménsulas de madera utilizados en las redes eléctricas no deben tratarse con sustancias conservantes con contenido de sales solubles. Respecto a la influencia de la temperatura en la resistividad de la madera, la conductividad se duplica cada 10° C de incremento de temperatura. Finalmente, debido a la propiedad anisotrópica de la madera, la dirección de la corriente aplicada también tiene un efecto sobre la resistividad de la madera puesto que la resistividad en dirección tangencial es casi el doble que la resistividad en dirección longitudinal. Asimismo, la resistividad en dirección radial es aproximadamente 10% inferior que la resistividad en dirección tangencial.

Debido a que las crucetas y ménsulas de madera se fabrican de tal manera que su eje longitudinal sea paralelo a su longitud nominal, se considera el valor de 110 000 ohm-m como magnitud referencial de su resistividad y  $9,091 \times 10^{-6}$  mho/m para su conductividad. Este valor corresponde al mayor valor para la resistividad longitudinal de la tabla 1.3.

**Tabla N° 1.3 Resistividad de la madera**

Item	Especie	Humedad (%)	Resistividad (ohm-m)		
			$\rho_L$	$\rho_T$	$\rho_r$
1	Thuja plicata (cedro rojo)	14	90 000	240 000	220 000
2	Picea sitchensis (abeto azul)	15,7	100 000	200 000	180 000
3	Pseudotsuga faxifolia	15,3	<b>110 000</b>	230 000	210 000

Fuente: Tabla de resistividad de madera, José Javier Fernández [8]

Donde:  $\rho_L$  es la resistividad longitudinal (paralela a las fibras)

$\rho_T$  es la resistividad transversal

$\rho_r$  es la resistividad radial

Respecto al valor de la resistencia, la misma se puede calcular aplicando la ecuación (1.3)

$$R = \rho \cdot \frac{Ln/2}{Sr} \quad (1.3)$$

Donde:

R es la resistencia del brazo de la cruceta o ménsula (ohm)

$\rho$  es la resistividad del material de la cruceta o ménsula (ohm-m)

Ln es la longitud nominal de la cruceta o ménsula (m)

Sr es la sección recta de la cruceta o ménsula e igual a b $\times$ h (m<sup>2</sup>)

#### b) Aislamiento eléctrico

Una cruceta o ménsula de madera agrega entre 330 a 500 kV/m al CFO total de una estructura [9]. Para longitudes mayores, la capacidad de aislamiento tipo rayo de la cruceta de madera y la combinación con el aislador están determinadas principalmente

sólo por la cruceta de madera. El aislamiento a frecuencia industrial se obtiene del dato del aislador y la cruceta sólo interviene con su aislamiento adicional ante sobretensiones tipo rayo.

En la tabla 1.3 se aprecia el aporte por metro de cruceta de madera al CFO total de una estructura MT para tres tipos de aisladores MT. Este valor se debe sumar al CFO propio del aislador para obtener el CFO total de la estructura.

**Tabla N° 1.3** CFO unitario de crucetas o ménsulas de madera

Item	Segunda componente	Primer componente	kV/m
1	Cruceta de madera	Aislador tipo pin vertical	250
2	Cruceta de madera	Aislador de suspensión vertical	160
3	Cruceta de madera	Aislador de suspensión horizontal	295

Fuente: Elaborado en base a tabla 3 de [9]

Cuando la trayectoria de la descarga tipo rayo, incluye sólo un elemento, el CFO total será igual al CFO propio de la componente. La tabla 1.4 presenta el CFO individual de aisladores tipo espiga, aisladores de porcelana tipo suspensión y el CFO propio para trayectorias de aire, de poste y cruceta de madera.

**Tabla N° 1.4** CFO propio de elementos de una estructura

Item	Segunda componente	kV	kV/m
1	Aislador ANSI 55-4	105	--
2	Aislador ANSI 55-5	120	--
3	Aislador ANSI 55-6	140	--
4	Aislador porcelana tipo suspensión	75 a 250	--
5	Aire	--	600
6	Poste de madera	--	330
7	Cruceta de madera	--	360

Fuente: Elaborado en base a tabla 2 de [9]

### 1.3 Crucetas y ménsulas de concreto

Actualmente, la normatividad DGE aplicable al suministro y diseño de Líneas y Redes Primarias para Electrificación Rural ejecutadas por la DEP no cubre los requerimientos técnicos para crucetas de concreto. Por tal motivo, se consideran las prescripciones técnicas de la norma DGE 015-PD-1 [13] y del Código Nacional de Electricidad tomo IV [6].

Un tema importante tratado en esta sección, se refiere a la especificación de los tres tipos de cargas que deben soportar las crucetas de concreto bajo condiciones normales de trabajo. Al respecto, las normas de crucetas de madera consideradas no especifican este

tipo de cargas y sólo se puede deducir la carga de trabajo vertical realizando un cálculo adicional en base al valor del esfuerzo de rotura a la flexión.

### **1.3.1. Condiciones ambientales**

Las normas DGE aplicables a Crucetas de concreto no especifican las condiciones ambientales de las zonas en las cuales se pueden instalar. Sin embargo, considerando que para su fabricación se utilizan los mismos materiales y procedimientos que para la fabricación de postes de concreto, es razonable suponer que pueden aplicarse las mismas condiciones ambientales consignadas en la ETS-LP-01[4].

- Altitud sobre nivel del mar: hasta 4000 m.
- Humedad relativa : 50 a 100%
- Temperatura ambiente : 0 °C a 30 °C
- Contaminación ambiental: Moderada
- Precipitación pluvial : No se indica

En zonas de concesión de Lima, se ha normalizado que este tipo de crucetas pueden instalarse en zonas de contaminación salina e industrial y zonas neblinosas sin lluvia.

### **1.3.2. Procedencia y fabricación**

Las crucetas de concreto pueden ser de procedencia nacional o importada. El concreto debe ser del tipo armado vibrado, compuesto principalmente de arena, grava, cemento y agua. No debe contener materiales extraños susceptibles de deteriorar su calidad, con una calidad de cemento no menor a 400kg por metro cúbico de concreto. Respecto al refuerzo, se especifica que las varillas correspondan a un mismo tipo de acero, con el mismo módulo de elasticidad. Asimismo, las varillas deben ser adecuadas, sin trazo de pintura, grasas u óxido en polvo o escamas, con un diámetro mínimo de 10mm para el de tipo corrugado y 0,8mm para los alambres de ligadura.

Finalmente, se requiere un recubrimiento mínimo de concreto de 10mm sobre la armadura metálica. Cabe mencionar que algunas concesionarias especifican un recubrimiento mínimo de 15mm de concreto.

### **1.3.3. Designación**

Las crucetas y ménsulas de concreto se designan con letras características (Z para crucetas simétricas, ZA para crucetas asimétricas y M para ménsulas) seguida de la longitud nominal, longitud asimétrica mayor con respecto al eje del poste y la carga de trabajo transversal [13]. Algunas concesionarias incluyen a final de la designación descrita, el diámetro nominal del agujero de montaje (Z o ZA/Ln/Rx/Dn).

### 1.3.4. Características mecánicas

Las características mecánicas para las crucetas de concreto se presentan en la tabla N° 1.5. Las cargas de rotura se calcularon multiplicando la carga de trabajo por el coeficiente de seguridad.

Tabla N° 1.5 Características mecánicas crucetas de concreto

Item	Característica	Unidad	Cruceta Simétrica	Cruceta Simétrica
1	Longitud nominal	m	1,2	2,4
2	Peso máximo	kg	80	150
3	Carga de trabajo transversal (Rx)	kg	300	600
4	Carga de trabajo vertical (Ry)	kg	150	150
5	Carga de trabajo longitudinal (Rz)	kg	300	300
6	Factor de seguridad		2	2
7	Carga de trabajo transversal de rotura (Rxr)	kg	600	1200
8	Carga de trabajo vertical de rotura (Ryr)	kg	300	300
9	Carga de trabajo longitudinal de rotura (Rzr)	kg	600	600

### 1.3.5. Características eléctricas

Debido a que las crucetas de concreto cuentan con un refuerzo de varillas de acero, se deduce que el conjunto puede tener una resistividad relativamente baja y que por tanto son más importantes las propiedades mecánicas que las eléctricas. Sin embargo, como en el informe se realiza la comparación entre las crucetas de concreto respecto a las de material polimérico, es necesario contar con un valor representativo para la resistividad de las crucetas de concreto. Al respecto, la resistencia total será la suma de la resistencia del concreto mas la resistencia del refuerzo de acero, la cual se puede despreciar por ser mucho menor que la resistencia del concreto. A su vez, la resistencia del concreto se puede calcular según ecuación (1.3), utilizando los valores de longitud y sección transversal según modelo de la figura 1.2.

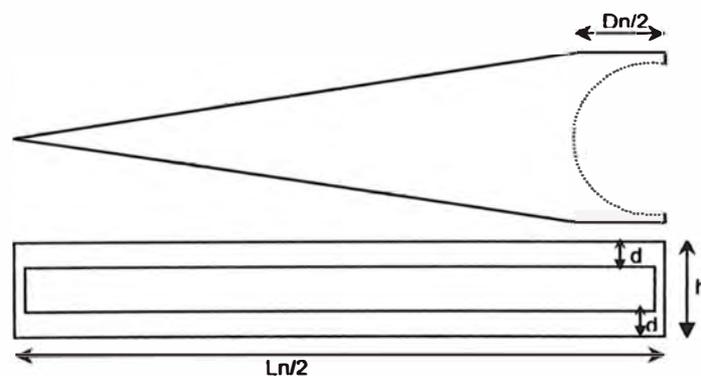


Figura 1.2 Esquema dimensional de crucetas de concreto

Donde:

$L_n$  es la longitud nominal;

$D_n$  es el diámetro nominal del agujero de montaje;

$d$  es el recubrimiento mínimo (10 a 15 mm)

$h$  es el grosor de la cruceta

Para aplicar la ecuación (1.3) es necesario determinar una sección recta equivalente ( $S_r$ ) que se calcula aplicando la ecuación (1.4).

$$S_r = d(D_n + h - 2d) \quad (1.4)$$

En cuanto a la resistividad, la misma depende de la densidad del concreto y la compresión a la que pueda estar sometido. Se considera 15102 ohm-m como valor referencial para la resistividad del concreto que corresponde al mayor valor de resistividad según pruebas realizadas en la Universidad de Cartagena [14].

## **CAPÍTULO II**

### **CRUCETAS Y MÉNSULAS POLIMÉRICAS**

#### **2.1. Introducción**

Las crucetas y ménsulas de material polimérico descritas en este informe corresponden a modelos del fabricante Crossarm Inc localizado en Gainesville, Texas, USA. Las crucetas y ménsulas fabricadas tienen características propias del material y dimensiones estándares de uso actual en las empresas de distribución eléctrica. Asimismo, según información del fabricante, los componentes descritos han sido sometidos a pruebas mecánicas según procedimientos del National Electrical Safety Code (NESC) realizadas por el Electric Power Research Institute (EPRI) y pruebas eléctricas efectuadas por el mismo EPRI y el American Electric Power (AEP) descritas en este informe [15][16].

El material de los componentes es un compuesto polimérico patentado por el fabricante, con propiedades especiales que le brindan a las crucetas y ménsulas fabricadas con este material ciertas características mecánicas y eléctricas relevantes.

#### **2.2. Descripción**

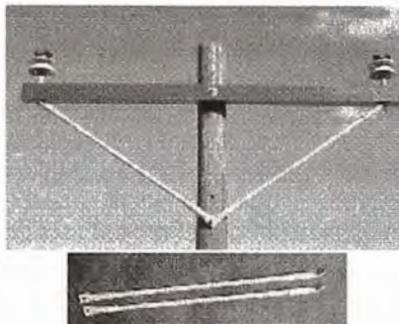
Las crucetas y ménsulas poliméricas son de material completamente reciclables, tienen tamaño estándar, peso ligero, son mecánicamente sobresalientes, tienen larga vida útil, muy baja conductividad y elevada flexibilidad. El peso ligero reduce los peligros asociados a la instalación y su flexibilidad les permite defleccionar ante cargas mayores a sus cargas de trabajo y retornar a su posición original cuando las mismas alcanzan valores nominales. En los casos críticos cuando se presentan cargas mayores a las de rotura por condiciones ambientales adversas como tormentas o árboles caídos sobre las líneas o postes, defleccionan permanentemente pero no rompen, lo que evita la falla a tierra por caída del conductor

Asimismo, su alta resistividad lo convierten en un cuerpo aislante y su elevado BIL le brindan propiedades de aislamiento comparables a sistemas de transmisión.

##### **2.2.1. Crucetas poliméricas**

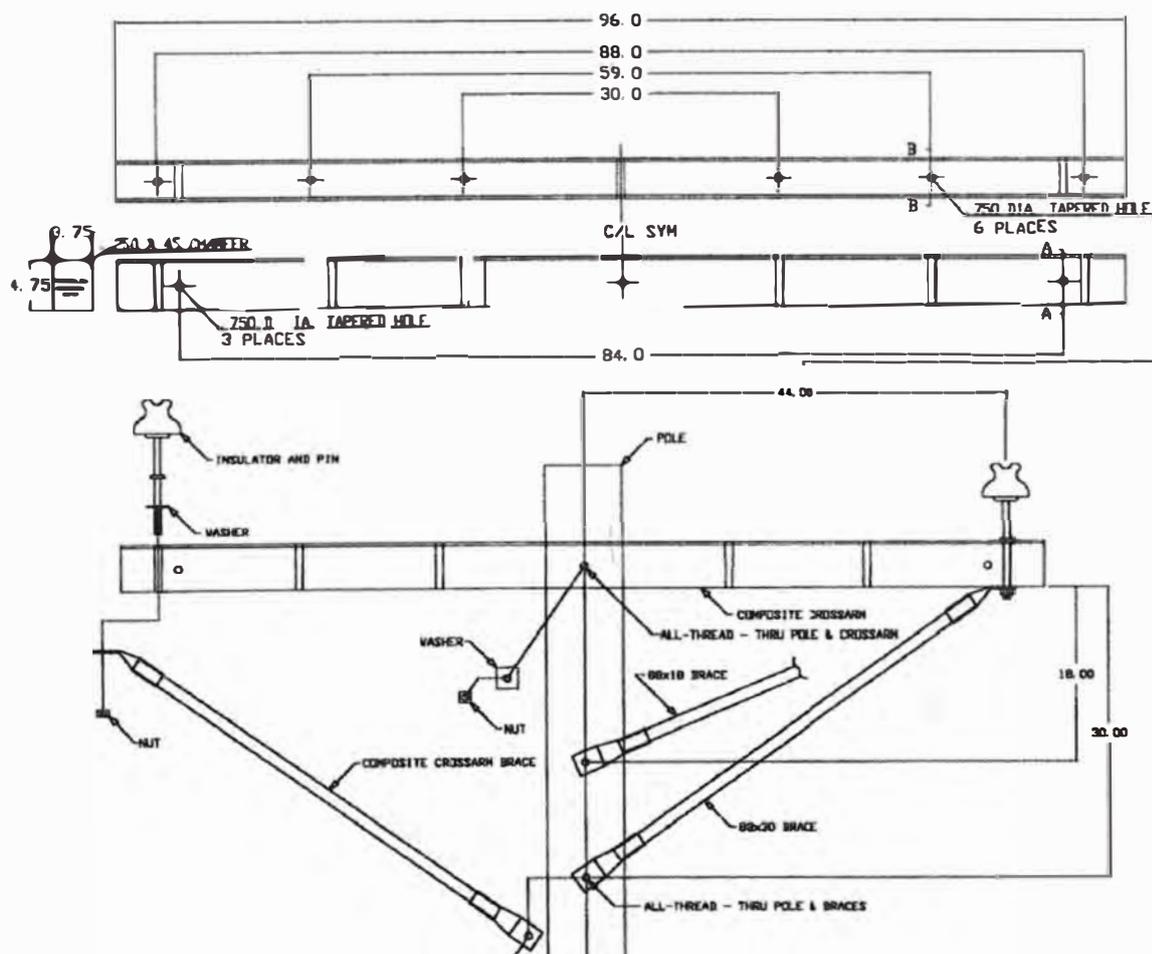
Son crucetas de 244cm (8 pies), tienen un peso aproximado de 10 kg, mucho menor que

el de madera y concreto, lo que reduce el riesgo de accidente durante su instalación. Las crucetas poliméricas tienen como accesorios soportes de fibra de vidrio con las puntas protegidas con elementos de acero galvanizado para su fijación a la estructura. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran una cruceta polimérica real y su característica dimensional.



**Figura 2.1** Cruceta polimérica real y accesorios

Fuente: Información del fabricante [16]



**Figura 2.2** Característica dimensional cruceta polimérica

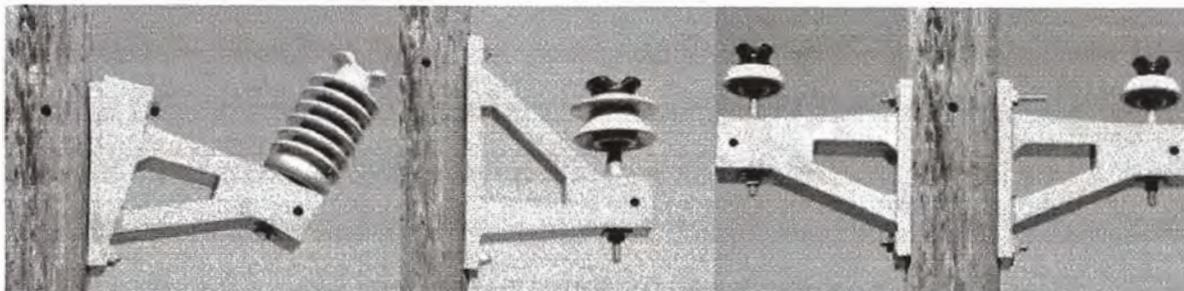
Fuente: Información del representante [15]

Nota: Las dimensiones están expresadas en pulgadas

## 2.2.2. Ménsulas poliméricas

Las ménsulas poliméricas tienen entre 30,5cm a 61cm (12 a 24 pulg.) de longitud nominal y se instalan preferentemente en espacios restringidos con aisladores tipo PIN.

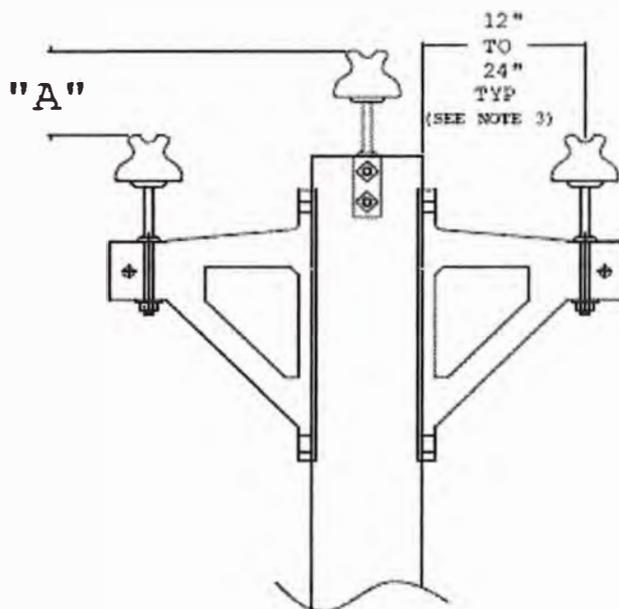
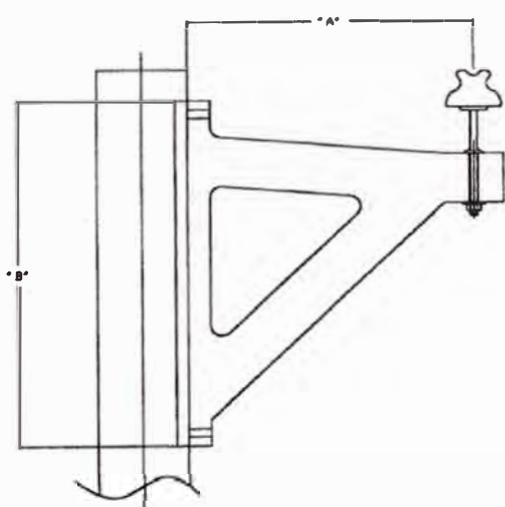
Las figuras 2.3 y 2.4 muestran una ménsula polimérica real y su característica dimensional.



**Figura 2.3** Ménsula polimérica real

Fuente: Información del fabricante [16]

NOTE: FOR USE WITH 7.5 TO 24KV INSULATORS.



PART NO.	"A"	"B"	TYP. DEFLECTIONS
CV#1	24"	33.25"	1/2" @750 LBS.
CV#2	12"	20.60"	1/2" @500 LBS.

**Figura 2.4** Característica dimensional ménsula polimérica

Fuente: Información del representante [15]

**Nota:** Las dimensiones están expresadas en pulgadas

## **2.3. Características físicas**

Las características físicas están relacionadas básicamente con la flexibilidad, durabilidad, seguridad y mínimo mantenimiento.

### **2.3.1. Flexibilidad**

Las crucetas y ménsulas no rompen bajo condiciones de carga. En estos casos, las crucetas deflexionan, retornando a su forma original (memoria). En casos extremos, tales como tormentas o árboles caídos sobre líneas o postes, pueden deflexionar permanentemente pero no rompen lo que evita fallas a tierra por caída del conductor.

### **2.3.2. Durabilidad**

Debido a las propiedades del material polimérico, las crucetas y ménsulas tienen una vida útil garantizada de 30 años en servicio normal. Esta característica se debe a que no están sujetas a daños de bacterias o ataque de xilófagos y por lo tanto no requieren tratamiento con sustancias preservantes y tienen alta resistencia a degradación por ambiente y rayos ultra violeta.

### **2.3.3. Seguridad**

Las crucetas tienen un peso máximo de 10 kg, lo que reduce el costo de transporte y facilita su instalación, lo que reduce la probabilidad de daño durante su manipulación.

### **2.3.4. Mínimo mantenimiento**

Las crucetas y crucetas adhieren mínima suciedad, debido a que su superficie es lisa y muchas veces con la ayuda de la fuerza del viento, logran deslizar sobre la misma las partículas de polvo del medio ambiente. La frecuencia de mantenimiento es menor que para crucetas de madera y concreto y su limpieza puede efectuarse con la misma frecuencia que para los aisladores poliméricos o híbridos e inclusive, su limpieza puede realizarse en caliente con chorros de agua tratada.

## **2.4. Características mecánicas**

Las características mecánicas se presentan en la tabla 2.1, obtenidas en base a los resultados de las pruebas EPRI efectuadas según procedimientos NESC [17]. Las características se presentan utilizando el mismo formato de las crucetas de concreto. La tabla consigna las cargas máximas a las cuales fueron sometidas las crucetas. Las cargas de trabajo se calcularon asumiendo un factor de seguridad 2.

**Tabla N° 2.1 Características mecánicas crucetas poliméricas**

Item	Característica	Unidad	Cruceta
1	Longitud nominal	m	2,23
2	Peso máximo	kg	10
3	Carga de trabajo transversal (Rx)	kg	570
4	Carga de trabajo vertical (Ry)	kg	696
5	Carga de trabajo longitudinal (Rz)	kg	340
6	Factor de seguridad		2
7	Carga de trabajo transversal de rotura (Rxr)	kg	1140
8	Carga de trabajo vertical de rotura (Ryr)	kg	1392
9	Carga de trabajo longitudinal de rotura (Rzr)	kg	680

Fuente: Elaborado en base a la tarjeta de pruebas mecánicas EPRI [17]

## 2.5. Características eléctricas

Las crucetas y ménsulas poliméricas han sido sometidas a pruebas de conductividad eléctrica por el American Electric Power (AEP) [18] y a pruebas de impulso tipo rayo por el Electric Power Research Institute (EPRI) [19].

### 2.5.1. Conductividad eléctrica

El test de conductividad fue realizado de acuerdo al estándar ASTM Std. D 150-95 "Standard Test Methods for AC Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulation"

Para la prueba correspondiente a resistividad de volumen se tomó una sección de 4" x 4" de la muestra del compuesto polimérico con un espesor uniforme de 0.152 pulgadas. Como resultado, la resistividad fue de  $5 \times 10^{12}$  ohm-m que corresponde a una conductividad de  $2 \times 10^{-13}$  mho/m.

También se calculó la resistencia de 30,5 cm (1 pie) de cruceta completa, obteniéndose una resistencia de  $8,45 \times 10^8$  ohm, correspondiente a una conductividad de  $1,18 \times 10^{-9}$  mho. De los resultados AEP se deduce que una cruceta estándar de 243 cm (8 pies) tiene una resistencia de  $67,6 \times 10^8$  ohm y una conductancia de  $0,15 \times 10^{-9}$  mho.

La tabla 2.2 resume los resultados de las pruebas y presenta para efectos comparativos el valor de la resistividad de la silicona utilizada en la fabricación de los aisladores poliméricos.

**Tabla N° 2.2 Conductividad eléctrica del material y cruceta polimérica**

Item	Característica	Unidad	Valor
1	Resistividad volumétrica	ohm-m	$5 \times 10^{12}$
2	Conductividad volumétrica	mho/m	$2 \times 10^{-13}$
3	Resistividad de 1 pie del modelo de cruceta	ohm	$8,45 \times 10^8$
4	Conductividad de 1 pie del modelo de cruceta	kg	$1,18 \times 10^{-9}$
5	Resistividad volumétrica de la silicona	ohm-m	$3,45 \times 10^{11}$
6	Conductividad volumétrica de la silicona	mho/m	$2,9 \times 10^{-12}$

Fuente: Elaborado en base a resultados de pruebas AEP de conductividad [18]

### 2.5.2. Aislamiento eléctrico

Las pruebas de aislamiento se realizaron según el estándar IEEE Std 4-1995, "IEEE Standard Techniques for High Voltage Testing".

EPRI realizó dos tipos de pruebas:

- Prueba al impulso tipo rayo, en seco (Lightning impulse tests, dry)
- Prueba AC a frecuencia industria (AC tests, dry and wet)

#### a) Prueba al Impulso tipo Rayo

Según EPRI esta prueba se realiza para confirmar que el armado conformado por el poste de madera, cruceta polimérica y aislador de 25 kV (ver figuras 1 y 2 Anexo C) es capaz de soportar sobretensiones tipo rayo esperadas para líneas de distribución de 25kV (tensión de diseño de las crucetas poliméricas). Esta prueba permite verificar la **configuración general externa** de la estructura y sirve para confirmar que las **distancias de aire** entre las partes metálicas son suficientes para soportar el estrés eléctrico. Por este motivo, el test normalmente se ejecuta sin lluvia.

Según los resultados, la estructura con cruceta polimérica con aislador y sin aislador (cable soportado directamente por la estructura) soporta un BIL de hasta **450 kV**. Este BIL corresponde a un sistema de transmisión de 115 kV, sobrepasando el BIL de 115 kV correspondiente a sistemas de distribución de 25 kV. [19]

#### b) Prueba AC a Frecuencia Industrial

Siguiendo con la descripción EPRI, **la prueba AC con lluvia y sin lluvia** permite confirmar que el armado es capaz de soportar el estrés eléctrico a corriente alterna en estado estacionario, en tiempo seco y con lluvia, para la tensión de un sistema de distribución de 25 kV. Al respecto, el rendimiento del material es superior en climas secos que bajo lluvia. Por este motivo, el test se ejecuta bajo las dos condiciones aplicando la tensión máxima de servicio fase tierra, la cual se obtiene dividiendo el 105% de la tensión nominal del sistema entre la raíz cuadrada de tres. (ver figuras 6 y 7 del anexo C)

Los resultados de las pruebas, indican que el armado completo (poste de madera, cruceta polimérica y aislador 25 kV) puede soportar, en condiciones húmedas, tensiones máximas de servicio fase-tierra correspondientes a tensiones nominales de hasta 69 kV AC a frecuencia industrial. Sin el aislador de 25 kV, existe la posibilidad de que se presenten daños en el armado cuando se apliquen tensiones máximas de servicio correspondientes a 69 kV y posiblemente a tensiones de sistemas de 44 kV [19].

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS COMPARATIVO**

#### **3.1. Introducción**

En el presente capítulo se comparan las características físicas, mecánicas y eléctricas de las crucetas de madera, concreto y poliméricas.

Para realizar las comparaciones mecánicas y eléctricas se asume lo siguiente:

- Una cruceta de madera de procedencia nacional de 240cm de longitud total con una sección de 9cm x 11,5cm (240cmx9cmx11,5cm). Este tipo de cruceta es considerada como parte de los armados de alineamiento, cambio de dirección y fin de línea de las redes aéreas optimizadas para los sectores típicos 4 y 5 del VNR 2005 elaborado por OSINERG [20]. Para obtener la longitud nominal ( $L_n$ ) de 223cm, se considera que los aisladores se instalan a 8,5cm de los extremos;
- Una cruceta de concreto armado de 240cm de longitud nominal ( $L_n$ ), una carga de trabajo transversal de 600kg (Rx), un agujero de montaje de 27,5 cm de diámetro ( $D_n$ ), un grosor medio de 10,75cm (h) y un recubrimiento de 1,5cm de concreto sobre la malla metálica; y
- Una cruceta polimérica de 244cm de longitud total o 223cm de longitud nominal ( $L_n$ ), una carga de trabajo transversal de 570kg (Rx).

#### **3.2. Comparación física.**

En la tabla 3.1 se comparan cualitativamente las características físicas como flexibilidad, durabilidad, seguridad, mantenimiento y variabilidad de las propiedades mecánicas y eléctricas de las crucetas de madera, concreto y poliméricas de dimensiones similares.

En general, las crucetas poliméricas tienen mejores características físicas puesto que tienen un peso mínimo, son 100% reciclables, mínima probabilidad de falla a tierra por rotura de cruceta, menor costo de transporte, larga vida útil, soportan muy bien las condiciones medioambientales severas (salinidad, humedad, hongos, insectos), mínima probabilidad de daño por manipulación durante la instalación, no presentan variación de sus propiedades mecánicas por efecto de la humedad, temperatura y lluvia. En el caso de sus propiedades eléctricas, las mismas sólo son afectadas parcialmente y responden

mejor que las crucetas de madera y concreto.

**Tabla N° 3.1** Comparación física de las crucetas

Item	Característica	Unidad	Material		
			Madera	Concreto	Polimérico
1	Longitud nominal	cm	223	240	223
2	Sección (hxb)	cmxcm	9x11,5	10,75x18,5	12,07x9,53
3	Peso máximo	kg	22,7(*)	150	10
4	Preservante		si	no	no
5	Reciclable		parcialmente	no	si (100%)
6	Flexibilidad				
	Rompe a cargas de rotura		si	si	no
	Posibilidad de Fallas a tierra por rotura de cruceta		si	si	no
7	Durabilidad				
	Vida útil	años	--	--	30
	Posibilidad de rajaduras transversales o fracturas		si	si	no
	Posibilidad de podredumbre por acción de xilófagos		si	no	no
	Posibilidad de daños por insectos con galerías u orificios		si	no	no
	Probabilidad de aristas con cantos vivos		si	si	no
8	Seguridad: Probabilidad de daño durante instalación		si	si	no
9	Mantenimiento				
	Frecuencia		regular	regular	mínimo
	Mant. en caliente recomendable		no	si	si
10	Variación de sus propiedades mecánicas con:				
	Humedad		si	si	no
	Temperatura		si	si	no
	Lluvia		si	si	no
11	Variación de sus propiedades eléctricas con:				
	Humedad		si	si	parcialmente
	Temperatura		si	si	no
	Lluvia		si	si	parcialmente
	Carga de trabajo		si	si	no

### 3.3. Comparación mecánica.

La tabla 3.2 presenta la comparación cuantitativa de las propiedad mecánicas para los tres tipos de crucetas. Al respecto, el cuadro sólo comparara las cargas de rotura puesto que son las que dependen de la naturaleza del material de cada cruceta. Las cargas de trabajo se pueden obtener aplicando el factor de seguridad y dependen de los criterios de diseño de las concesionarias de distribución eléctrica.

En cuando a la carga de rotura vertical (Ryr) de la cruceta de madera, esta se obtiene aplicando la ecuación (1.1) en base a las dimensiones de la tabla 3.1.

Al comparar las características mecánicas de los tres tipos de crucetas, se puede deducir que para similares dimensiones, las crucetas poliméricas pueden soportar casi la misma carga transversal que las crucetas de concreto. Asimismo, soporta muy bien las cargas verticales, inclusive mucho mejor que las crucetas de madera y de concreto y puede soportar un poco mejor que el concreto las cargas longitudinales.

Por lo tanto, mecánicamente las crucetas poliméricas tienen un comportamiento notable respecto a sus similares de madera y concreto. Adicionalmente, es importante mencionar que las propiedades mecánicas del polímero son casi invariables ante cambios ambientales y de clima en contraste con las crucetas de madera y concreto, las cuales se ven afectadas por la humedad, temperatura, salinidad, lluvia y cargas de trabajo.

**Tabla N° 3.2 Comparación mecánica de crucetas**

Item	Característica	Unidad	Material		
			Madera	Concreto	Polímero
1	Longitud nominal	cm	223	240	223
2	Carga de rotura transversal (Rxr)	kg	--	1200	1140
3	Carga de rotura vertical (Ryr)	kg	710	300	1392
4	Carga de rotura longitudinal (Rzr)	kg	--	600	680

### 3.4. Comparación eléctrica.

Para comparar las propiedades eléctricas de las crucetas ha sido necesario calcular la resistencia (conductancia) de la cruceta de madera aplicando la ecuación (1.3). Asimismo, la resistencia (conductancia) de la cruceta de concreto se obtuvo con las ecuaciones (1.3) y (1.4).

En la tabla 3.3 se comparan las características de resistividad o conductividad del material (madera, concreto y polímero) y la resistencia o conductancia de los modelos completos de crucetas según dimensiones asumidas. Asimismo, se comparan los niveles de aislamiento de cada cruceta como el BIL y CFO.

Para la madera, se considera el CFO unitario correspondiente a la cruceta como segundo componente después de un aislador tipo pin vertical. Asimismo, el BIL correspondiente se obtiene aplicando la ecuación (3.1) [21].

Para el caso de la cruceta polimérica el CFO se obtiene aplicando la recíproca de la ecuación (3.1).

$$BIL = 0,961xCFO \quad (3.1)$$

**Tabla N° 3.3 Comparación eléctrica de crucetas**

Item	Característica	Unidad	Material		
			Madera	Concreto	Polimérico
1	Longitud nominal	m	2,23	2,40	2,23
2	Resistividad del material	ohm-m	110 000	15 102	$50\ 000 \times 10^8$
3	Conductividad del material	mho/m	$9,091 \times 10^{-6}$	$66,22 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-13}$
4	Resistencia de la cruceta	ohm	11 850 242	3 427 404	$67,6 \times 10^8$
5	Conductancia de la cruceta	mho	$8,445 \times 10^{-8}$	$29,17 \times 10^{-8}$	$0,15 \times 10^{-9}$
6	BIL del armado (poste, cruceta, aislador pin)	kV	240(*)	–	450
7	CFO adicional unitario adicional de la cruceta	kV/m	250	–	468(*)
8	Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial (Test AC)	kV (Fase-Fase)	(**) < 69 kV	–	69 kV

(\*) Calculado según ecuación (3.1)

(\*\*) Se deduce que es menor que 69 kV puesto que su BIL es menor

Si analizamos las propiedades eléctricas de la cruceta polimérica respecto a los otros tipos, notaremos que su resistividad es  $10^7$  veces la resistividad de la madera, lo que le confiere condiciones de aislante extraordinarias, inclusive un poco mejores que los aisladores poliméricos.

Debido a su alta resistividad, en los armados con cruceta polimérica no se requiere llevar a un punto común la ferretería de los aisladores. En el caso de la cruceta de madera esta conexión es muy importante puesto que evita la circulación de pequeñas corrientes a través de la misma que pueden quemar a largo plazo las fibras de madera ocasionando fallas internas. Sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de que cortocircuita la capacidad de aislamiento que provee la madera [9].

Si bien es cierto, el daño a crucetas de madera debido a descargas tipo rayo es relativamente escaso, sin embargo en áreas de alto nivel isoceraunico las fallas pueden ser mas frecuente. Como se ha descrito anteriormente, las condiciones ambientales y climáticas afectan sobremanera las características mecánicas y eléctricas de la madera, aumentando la probabilidad de falla ante descargas atmosféricas. En este caso cobra relevancia la propiedad aislante de la cruceta polimérica, la cual tiene un comportamiento mecánico invariable y características eléctricas menos afectas a los cambios climáticos.

En efecto, el BIL de la cruceta polimérica corresponde a un sistema de transmisión de 115kV y su capacidad de soporte a frecuencia industrial corresponde a un sistema de transmisión de 69 kV. Estas características permiten deducir que las crucetas poliméricas se comportarán de manera relevante en redes eléctricas MT a ser instaladas en zonas de sierra de gran altura con elevado nivel isoceraunico.

Por otro lado, los resultados permiten deducir que debido a su relativa baja resistividad (apenas el 14% de la resistividad de la madera), las crucetas de concreto aportan poco al CFO de la estructura MT y más aun cuando es usual unir toda la ferretería a un punto común de la estructura. En estos casos el CFO total sólo se debe a la capacidad aislante del aislador. Por lo tanto, estas crucetas no son recomendables para redes MT de zonas con un elevado nivel isoceraunico, pero si en zonas de la costa, en las cuales la probabilidad de descargas tipo rayo es mínima. Sin embargo, en redes MT ubicadas en zonas muy cercanas al mar, la corrosión y contaminación salina es tan elevada que las crucetas de concreto se deterioran rápidamente, siendo recomendable las crucetas poliméricas no por sus propiedades aislantes sino por su alta capacidad de respuesta ante condiciones ambientales adversas, al igual que los aisladores poliméricos. Al respecto, podría decirse que las crucetas de madera serían una buena alternativa, pero se debe considerar que la madera reduce significativamente sus propiedades eléctricas ante incrementos de humedad y presencia de ambientes salinos, factores que reducen su resistividad eléctrica, aumentando las corrientes de fuga y el deterioro interno de la cruceta.

### **3.5. Comparación económica**

Se comparan los costos directos de los armados de alineamiento convencionalmente utilizados en la actualidad con crucetas de madera o concreto con respecto a un armado equivalente con cruceta polimérica. El concepto de equivalencia utilizado se refiere a que iguala o supera el desempeño eléctrico y mecánico.

Asimismo, se consideran armados para redes aéreas MT de 10kV y 22,9 kV y que pueden instalarse en ambiente corrosivo y no corrosivo. Por lo tanto, los costos directos evaluados se diferencian por nivel de tensión, zona y tipo de cruceta.

La tabla 3.4 lista las cantidades de materiales y recursos principales que conforman los armados de alineamiento vertical trifásico considerados en la evaluación. Las cantidades indicadas son válidas de manera general para redes aéreas MT en 10 y 22,9 kV, para zonas corrosivas y no corrosivas.

El detalle descriptivo de cada material considerado se aprecia en las tablas de cálculos y resultados presentados en el anexo D.

Tabla N° 3.4 Materiales relevantes de los armados

Material	Cantidad por tipo de cruceta		
	Madera	Concreto	Polimérica
Poste	1	1	1
Cruceta	1	1	1
Diagonal de cruceta	2	--	2
Aislador	3	3	3
Amarre Preformado	3	3	3
<b>Instalación</b>			
instalación Poste	1	1	1
instalación Cruceta	1	1	1
Instalación diagonal	2	--	2
Instalación aislador en cruceta	2	2	2
Instalación aislador en punta de poste	1	1	1
Ejecución de amarre	3	3	3

### 3.5.1. Modelos de armados

Para los armados de madera y concreto se consideran dos modelos válidos para los dos niveles de tensión. Para zonas no corrosiva el armado cuenta con aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 55-5 y para zonas corrosivas los aisladores son del tipo PIN poliméricos los cuales tienen un alto desempeño en este tipo de ambientes.

Sin embargo, el armado con cruceta polimérica es el mismo tanto para zona corrosiva y no corrosiva puesto que utiliza sólo aisladores de porcelana PIN ANSI 55-5 debido a las características eléctricas de la cruceta polimérica que le permite cumplir adicionalmente la función equivalente de un aislador polimérico para sistemas de hasta 69kV.

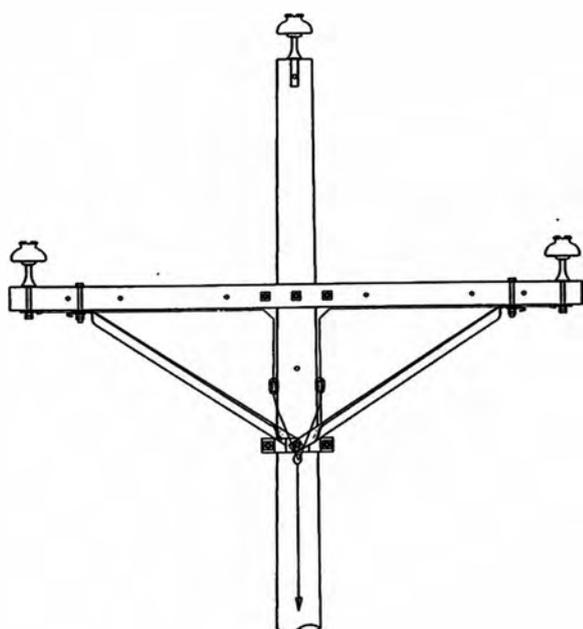


Figura 3.1.a Armado con cruceta de madera

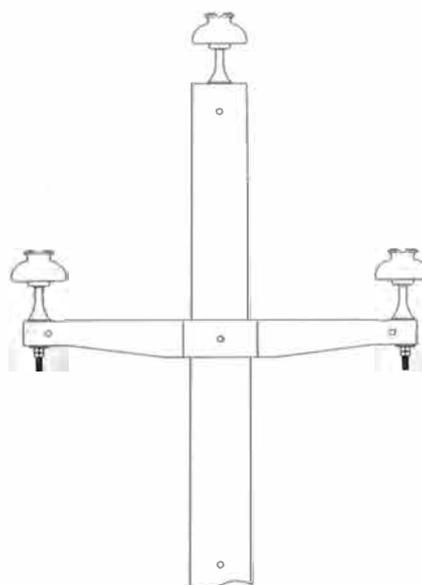


Figura 3.1.b Armado con cruceta de concreto

Figuras 3.1 Armados con crucetas de madera y concreto para zona no corrosiva

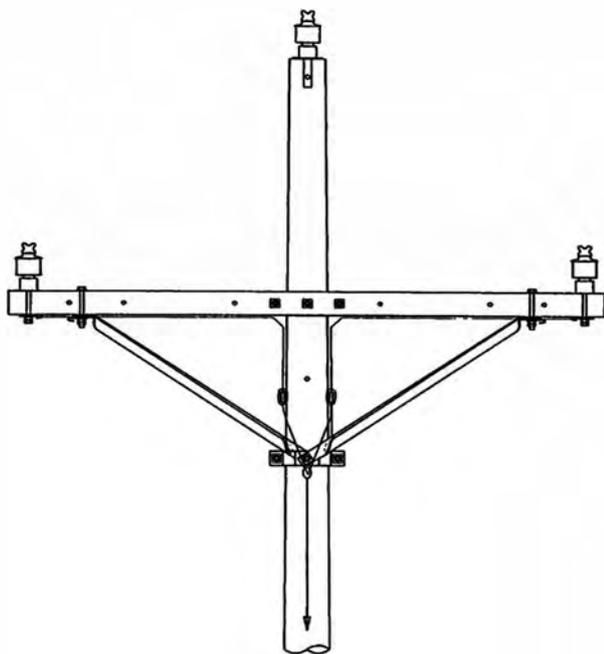


Figura 3.2.a Armado con cruceta de madera

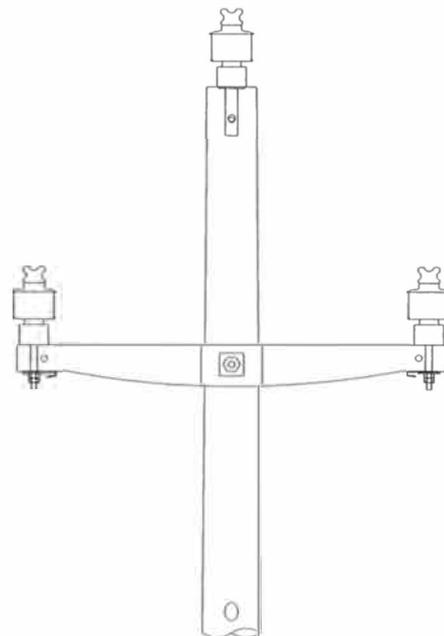
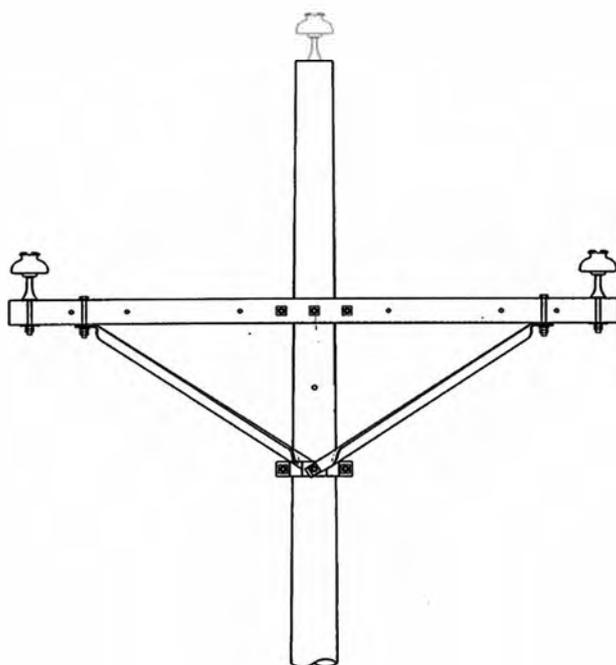


Figura 3.2.b Armado con cruceta de concreto

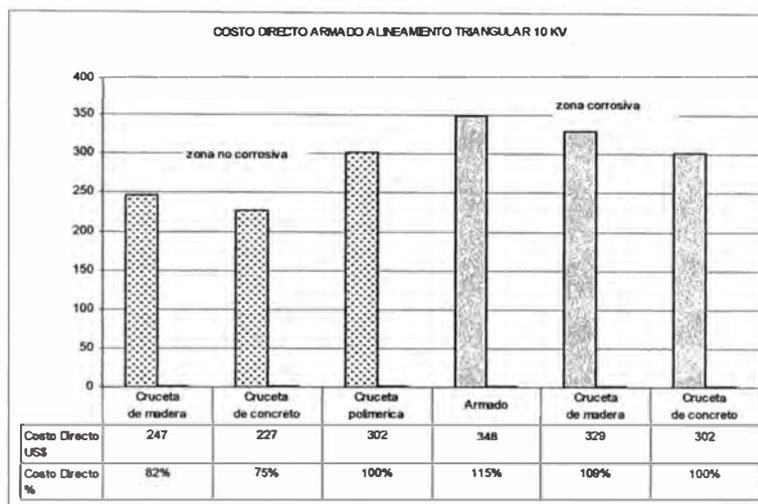
**Figura 3.2** Armados con crucetas de madera y concreto para zona corrosiva



**Figuras 3.3** Armado con cruceta polimérica para zona corrosiva y no corrosiva

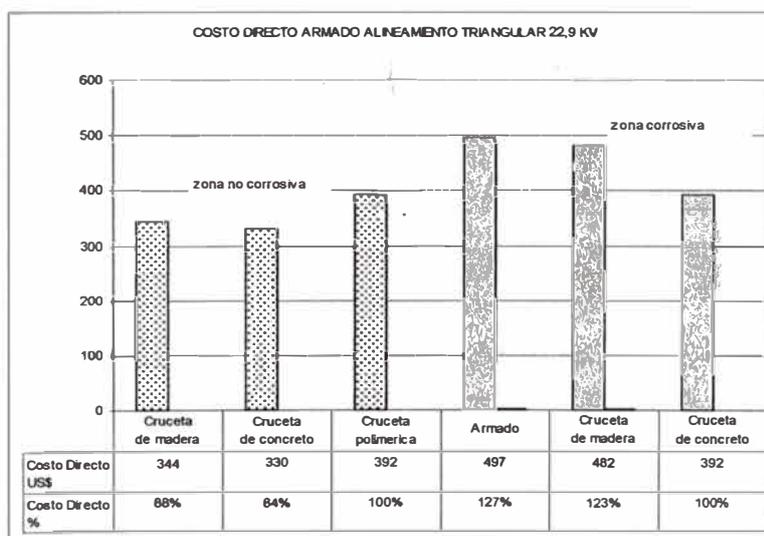
### 3.5.2. Comparación de costos directos

Tal como se aprecia en la figura 3.4, en zona no corrosiva, el costo directo de un armado de 10 kV con cruceta polimérica es 20% a 25% mayor que los costos directos de los armados con crucetas de madera o concreto. Sin embargo, el mismo armado tiene un costo menor en al menos 10% que los armados para zona corrosiva con crucetas de madera o concreto.



**Figura 3.4** Costos de armados de alineamiento vertical en 10 kV

La misma situación se presenta en un sistema MT de 22,9 kV. En efecto, el gráfico comparativo de costos de la figura 3.5 demuestra que en zona no corrosiva el armado con cruceta polimérica sigue siendo más costoso. Sin embargo, al comparar su costo con armados con crucetas de madera y concreto preparados para ambientes corrosivos, es por lo menos 23% más barato.



**Figura 3.5** Costos de armados de alineamiento vertical en 22,9 kV

Por lo tanto, el armado con cruceta polimérica es la mejor opción técnica y económica para redes aéreas MT de 10 y 22,9 kV a ser instaladas en zonas de concesión con alta polución medioambiental o ambientes corrosivos como los que se presentan en zonas costeras.

Asimismo, la comparación económica también permite establecer que a pesar que la cruceta polimérica brinda mejores características mecánicas y eléctricas a los armados de redes aéreas MT, sin embargo no es la mejor opción económica para zonas no corrosivas o ambientes con baja polución.

Finalmente, en zonas alto andinas con alto nivel isoceraunico, los armados con crucetas poliméricas brindarán un alto desempeño mecánico y eléctrico a sus estructuras aéreas, reduciendo las salidas frecuentes por sobretensiones tipo rayo, siendo en este caso una muy buena alternativa para resolver este tipo de problemas. Por tanto, su uso esta supeditado al beneficio económico asociado a la reducción de las compensaciones por interrupción del servicio eléctrico y al mejoramiento del "indicador de la calidad del suministro". Al respecto cabe precisar que lo descrito es un tema pendiente que no forma parte del presente informe puesto que son necesarios datos estadísticos de compensaciones asociadas a las interrupciones del servicio ocasionadas por sobretensiones de origen atmosférico. Asimismo, los datos mencionados deben estar relacionados a la cantidad de red aérea MT identificando las interrupciones asociadas directamente con las crucetas sean estas de madera concreto.

## **CAPÍTULO IV APLICACIÓN**

### **4.1. Experiencia nacional**

Las crucetas y ménsulas poliméricas se instalaron por primera vez en Perú como parte de un proyecto piloto en redes aéreas MT de la ciudad de Lima. Los armados se conforman de postes de concreto, crucetas o ménsulas poliméricas, aisladores tipo pin híbridos y brazos soporte de material de fibra de vidrio con terminales de acero galvanizado.

Los tramos de red se encuentran instalados en zonas de alto tránsito vehicular y de alta polución para probar su respuesta en zonas polvorientas.

### **4.2. Experiencia internacional**

Los componentes descritos se encuentran instalados en su mayor parte en zonas de empresas eléctricas de los Estados Unidos de Norteamérica. De acuerdo a información del fabricante, las empresas que cuentan que estos materiales son American Electric Power, City of Alexandria, Bandera Electric Co-Op, City of Brownsville, Carroll Electric, Central Vermont Services, City of Cheney, Washington, Cooke County Electric, Coos Curry Electric Co-Op, Oregon, CoServe Electric, Covington Electric, Glacier Electric, Billings, Montana, City of Goldthwaite, Guadalupe Valley Electric y Victoria Electric Cooperative INC.

En el caso de Victoria Electric, la empresa instaló las crucetas en el puerto O'Connor de Texas y observó su comportamiento durante toda la primavera de 1999, sin encontrar evidencias de contaminación salina en las crucetas, lo que si ocurrió en crucetas de madera en el mismo periodo y en la misma zona.

### **4.3. Propuesta de aplicación**

Debido a sus características y a la experiencia descrita en este informe, se propone el uso de crucetas y ménsulas poliméricas en redes aéreas MT en 10 y 22,9kV en las siguientes áreas:

1. Zonas costeras cercanas al mar con alta contaminación salinas

2. Zonas urbanas con elevada polución ambiental.
3. Zonas de sierra con grandes precipitaciones pluviales o con elevado nivel isoceraunico.
4. Selva alta y baja, por su comportamiento único ante altos niveles de humedad, lluvia y temperatura, manteniendo casi invariable sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas.

## CONCLUSIONES

1. Las crucetas y ménsulas poliméricas tienen mejores características físicas y mecánicas que las del tipo madera y concreto y proveen sobresalientes propiedades eléctricas a los armados MT.
2. Su peso ligero reduce el riesgo asociado a los trabajos de instalación y mantenimiento, son completamente reciclables, tienen alta resistencia a la degradación por condiciones medioambientales severas como humedad, salinidad, hongos e insectos.
3. Su elevada flexibilidad disminuye las probabilidades de falla por caídas de conductor ante condiciones de carga adversas.
4. Las crucetas y ménsulas poliméricas responden de manera uniforme ante los requerimientos de cargas de trabajo y mantienen sus características mecánicas ante condiciones ambientales y climáticas adversas.
5. Asimismo, responden mucho mejor a los esfuerzos eléctricos que las crucetas de madera y concreto. Su resistividad eléctrica es 45 millones de veces la resistividad de la madera, 330 millones de veces que la del concreto y se mantiene casi inalterable ante variaciones de clima y medioambiente.
6. En contraste, la resistividad de la cruceta de madera depende mucho de la humedad, temperatura y salinidad. Tal es así que cuando la humedad de la madera se incrementa de 0% a 30%, su resistividad se divide aproximadamente por  $10^6$  y por cada  $10^\circ$  C de incremento de temperatura, la resistividad se reduce a la mitad.
7. Según pruebas EPRI, el aislamiento eléctrico de los armados MT con crucetas poliméricas es mucho mayor que el de estructuras con crucetas de madera, porque alcanzan un BIL de 450kV (correspondiente a sistemas de alta tensión de 115 kV) y una tensión de servicio equivalente a sistemas de 69 kV. Por lo tanto, para zonas alto andinas con alto nivel isoceraunico, brindarán un alto desempeño mecánico y eléctrico a sus estructuras aéreas, reduciendo las salidas por sobretensiones atmosféricas.
8. Para redes MT de 10 y 22,9 kV en zonas de concesión con alta polución

medioambiental o ambientes corrosivos como las zonas costeras, los armados de alineamiento con crucetas poliméricas son la mejor opción técnica y económica. Sin embargo a pesar que la cruceta polimérica brinda mejores características mecánicas y eléctricas a los armados de redes aéreas MT, no es la mejor opción económica para zonas no corrosivas o ambientes con baja polución.

9. Finalmente, en zonas de sierra con grandes precipitaciones pluviales y elevado nivel isoceraunico, son la mejor opción técnica respecto a las crucetas de concreto y madera inclusive. Sin embargo, la decisión de su uso debe estar supeditado al beneficio económico que pueden brindar al permitir la reducción de las compensaciones por interrupción del servicio eléctrico y al mejoramiento del “indicador de la calidad del suministro”.

## **ANEXO A**

POWERING PROGRESS THROUGH  
SCIENCE AND TECHNOLOGY



Mr. Jim Moore  
Crossarm, Inc.  
1710 Westair  
Gainesville, TX 76240

April 29, 1999

Subject: Summary of Mechanical Testing

Dear Jim,

Thank you for choosing the EPRI EDUC-Haslet to provide your product verification testing. The following is a summary of the testing results of a comprehensive test program conducted on a composite crossarm for Crossarm, Inc. of Gainesville, Texas. A total of twenty-two mechanical tests were performed to evaluate crossarm capacity under different loading conditions. Additional coupon testing was done across a wide range of temperatures to evaluate the thermal effects on performance. Finally, samples of one arm were subjected to conductivity and leakage current tests.

The objectives of Crossarm, Inc. were to demonstrate and verify the crossarms capabilities. The following test requirements were established:

- The composite crossarm shall be tested using 6030 support braces.
- Vertical Load and Deflection Tests (Based on vertical load being applied 44 inches from center of crossarm.):
  1. Must withstand a minimum downward vertical load of 750 lbs. with a maximum vertical deflection of 2.5". (Applied load based on National Electrical Safety Code - NESC 252A)
  2. No breakage of crossarm at maximum load. (Maximum load requirement is 3 times load of 2.1 above = 2250 lbs.)
- Transverse Pin Tests: (Horizontal load applied at height of the conductor and perpendicular to conductor.)
  1. 500 lb. maximum load with type f insulator pin.
  2. 750 lb. maximum load with type f insulator pin w 2 1/4" square washer.
  3. 1000 lb. maximum load with saddle type insulator bracket.
- Longitudinal Pin Test: (Horizontal load applied at height of conductor and parallel to conductor.)
  1. 700 lb. maximum load with type f insulator pin.

Note: The crossarm will deflect under abnormal loading, but will partially recover when load is reduced or removed.

The test articles consisted of three different weight composite crossarms. The crossarms are manufactured from a composite mixture using the rotational molding process. The crossarms had the same external dimensions.; height, width, and length; but different weights. The weight difference was the result of varying wall thickness. Weights of 16 pounds, 18 pounds, and 20 pounds were tested. The 16-pound crossarm is the preferred weight.

ENERGY DELIVERY & UTILIZATION CENTER  
115 East New Lenox Road | Lenox | MA | 01240 | USA  
Tel 413.499.5701 | Fax 413.499.5718

CORPORATE HEADQUARTERS  
3412 Hillview Avenue | P.O. Box 10412 | Palo Alto | CA 94303-0813 | USA  
Tel 650.655.2000 | www.epri.com

The arms were mounted on a wood pole section. The pole was supported in a fixture that simulated direct embedment. The wooden v-braces used were Hughes Heavy Duty braces provided by Crossarm. A steel brace set was also used for a few of the tests. The crossarms were bolted to the pole using a 5/8 -inch bolt. A galling plate was used in all but one longitudinal load test. Test loads were applied through wire rope rigging. An in-line load cell measured tension in the load line. To ensure that the rigging was adequate for loading the structure, a minimum margin-of-safety ration of 2.5 was used in sizing the rigging.

The EPRI Energy Delivery & Utilization Center (EDUC) Data Acquisition and Control System (DACS) was used to monitor loading of the test specimens. Loads were applied through wire rope rigging utilizing electric winches and were measured by load cell, containing full-bridge strain gauges, mounted in each pulling cable. The load cells were calibrated before and after testing on a Materials Testing Machine which has calibrations traceable to the National Institute of Standards and Technology. The DACS computer monitored the electronic output of the transducers. The DACS recorded all test data to the system disk memory allowing complete post-test analysis of the test specimen performance. Linear displacement transducers were used to monitor the movement of the crossarm during the vertical loading cases and the longitudinal load cases.

The target of 100 percent loads were furnished by Crossarm, Inc. and were derived from the National Electrical Safety Code. The attached table presents a complete description of all mechanical testing performed. The target loads, maximum applied loads, and displacements at the target loads are summarized. For each test load case, the load was applied continuously through the 750-lb. target load to 1000 lb. at the client's request. A pause of 3 minutes minimum was made then the loads were removed. In the vertical load tests the specimens were then loaded to a maximum load of 3000 lbs., the upper limit of the load cells being used.

A transverse load was applied using a special attachment to simulate a post insulator on top of the crossarm. One test of each type previously described was conducted on specimens of each weight, 16 lb. and 18 lb. All of the tests successfully reached the target load. In fact, after the first test, T169LDSP on Specimen F1601, the client requested that the pin with oversized washer be loaded to 1000 lb. No visible damage or permanent deformation was noted. The next test on a 16-lb. arm with a bracket assembly was loaded to maximum load of 1500 lb., again with no visible damage and no permanent deformation. The same loading schedule was followed for the 18-lb. arm. The maximum applied loads are presented in the attached table.

One longitudinal test with each weight of crossarm was conducted. Test T169LALL, a 16-lb. arm was taken to 730 lbs. The arm displacement was significant at the maximum load. The wood brace on the side being tested did splinter slightly just above the lower attachment. The 18-lb. arm performed better under this loading condition. It reached a load of 1000 lbs. before the wood brace splintered as it did in the test of the 16-lb. arm. No catastrophic failure was experienced; the deformation resulted in no apparent loss of load carrying capacity.

A total of 6 vertical load tests were conducted on 16 lb. crossarm specimens, 3 with wood braces, 2 with steel braces, and one foam filled arm with wood braces. The first test conducted, T169LDW1, reached the 750-lb. target load with 1.7 inches of displacement. No visible damage or permanent deformation was noted. Each of the other tests were loaded to the 750 lbs. target load and then increased to 1000 lbs. and held for 3 minutes. The load was then released and the arm was given a couple of minutes to return to its original position. Each arm was then loaded to a maximum load of approximately 3000 lbs. Typically the wood brace experienced a failure at the pole attachment. Test T169LDS1 on specimen F1605 using steel braces reached a maximum load of 3070 lb. and held that load for 3 minutes.

Four specimens of the 18-lb. arms were tested with wood braces and 2 were tested with steel braces. The same loading schedule 750 lbs, then 1000 lbs. for 3 minutes, off-load, load to a maximum of 3000 lbs., was followed for these tests. The two specimens tested with steel braces F1803 and F1804 reached and held the 3000 lbs load for 3 minutes. These two specimens saw displacements of 1.7 inches and 2.0 inches respectively, at the 750-lb. target load.

Additional testing on two 20-lb. arms was also conducted. Each of these was taken to the 750-lb. target load then on to 1000 lbs. and the loads were released.

Additional testing was conducted to determine basic mechanical and electrical properties of the composite crossarms. The mechanical properties investigated were the Modulus of Rupture (MOR) and the Modulus of Elasticity (MOE). The MOR of the material was found to be temperature dependent, the average value for a material temperature of 75°F was 2375 psi. The MOE was developed for both axes of the cross section, vertical and horizontal. The values are provided in the attached table.

The electrical properties investigated were the conductivity and the conductance. The conductivity obtained was  $2 \times 10^{-13}$  mho per meter based on volume resistivity. The conductance was  $1.18 \times 10^{-9}$  mho based on full sample section.

The testing conducted on the composite crossarms successfully met the objectives of Crossarm, Inc., performance criteria of the arm, under various loading conditions, were established. In all cases tested, the target loads were reached without a failure of the crossarm. In general those "failures" that did occur were failures of the attachment fitting of the heavy duty wood braces under very heavy loading conditions of 3 and 4 times the target load. Some permanent deformation was noted as a result of increasing the load on the crossarms until something, typically a brace, failed. It is important to note that after loads of up to twice the target load in the transverse and vertical load cases has been applied and then released to a normal load of 100 to 200 lbs. the arm returns to nearly its original starting position within a few moments.

The tests show the heavier weight arms (18 lbs. and 20 lbs.) did not yield significantly better result.

If you have any questions regarding the contents of this letter please feel free to contact me at (817) 234-8212.

Sincerely,



Jeffrey T. Steele  
Project Manager  
EPRI EDUC-Haslet

TEST LABEL (T169--)	SPECIMEN LABEL	DESCRIPTION	TARGET LOAD (LBS)	HOLD (MIN.)	MAXIMUM APPLIED LOAD (LBS)	HOLD (MIN.)	DISPLACEMENT AT TARGET LOAD (INCHES)
LDSP	F1601	STANDARD PIN - TRANSVERSE LOAD	500	3	1000		
LAOW	F1601	PIN WITH OVERSIZED WASHER - TRANSVERSE LOAD	750	3	1500	3	
LABA	F1601	OPPOSITE END-PIN WITH BRACKET ASSEMBLY - TRANSVERSE LOAD	1000	3	729	3	
LALL	F1602	STANDARD PIN - LONGITUDINAL LOAD	700	3	2513	3	
LDW1	F1603	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2829		1.7
LDW2	F1603	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2815		2.2
LDW3	F1604	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2554		2.4
HDW1	F1801	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	3070	3	2.7
HDW2	F1802	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	3054	3	2.4
LDS1	F1805	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	3024	3	2.3
HDS1	F1803	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2581	3	1.7
HDS2	F1804	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2246		2.0
LDS2	F1606	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2631		2.3
HDW3	F1805	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2401		2.3
HDW4	F1806	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750	3	2631		1.9
LDW4	F1613	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES - FOAM FILLED	750	3	2401		1.4
HDSP	F1807	STANDARD PIN - TRANSVERSE LOAD	500	3	783		
HDOW	F1807	PIN WITH OVERSIZED WASHER - TRANSVERSE LOAD	500	3	1279		
HDBA	F1807	OPPOSITE END-PIN WITH BRACKET ASSEMBLY - TRANSVERSE LOAD	750	3	1530		
HDLL	F1808	STANDARD PIN - LONGITUDINAL LOAD	700	3	1066		
LDCL2	F1608	CANTILEVER ON LIGHT DUTY ARM-NARROW SIDE	501				
LDCL3	F1609	CANTILEVER ON LIGHT DUTY ARM-WIDE SIDE	401				
HDCL1	F1809	CANTILEVER ON HEAVY DUTY ARM- WIDE SIDE	549				
HDCL2	F1810	CANTILEVER ON LIGHT DUTY ARM- NARROW SIDE	679				
20W1	F2001	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750				2.5
20W2	F2002	VERTICAL PULL ONLY - WOOD BRACES	750				2.6

**Table 3-1  
Test Summary**

<b>LD - Vert</b>	<b>Load (lbs)</b>	<b>Displacement</b>	<b>Length (in)</b>	<b>Modulus of Elasticity</b>
	200	3.8	36	58948
	300	6.4	36	52500
	400	10.4	36	43077
	500	19.7	36	28427
<b>LD - Horiz</b>	100	1.4	36	118691
	200	4.4	36	75531
	300	10.3	36	48398
	400	16	36	41542
<b>HD - Vert</b>	100	.8	36	121917
	200	2.6	36	75026
	300	4.8	36	60958
	400	7.3	36	53443
	500	11.6	36	42040
	600	14.9	36	39275
	700	20.7	36	32982
<b>HD - Horiz</b>	100	1	36	145543
	200	4.4	36	66156
	300	9.1	36	47981
	400	12.1	36	48113
	500	17.5	36	41584

**Table 3 - 2**  
**MOE Value**

## **ANEXO B**

*Appendix F Electrical Testing Results*

**American Electric Power**  
1 Riverside Plaza  
Columbus, Ohio 43215-2373  
614-223-1000



Mr. Jeff Steele  
EPRI  
P.O. Box 187  
Haslet, TX 76052

March 30, 1999

Dear Mr. Steele:

SUBJECT: COMPOSITE CROSS ARM CONDUCTIVITY TESTS: EPRI

**Background**

Two conductivity tests were performed on a composite cross arm from EPRI. Test 1: volume resistivity was performed per ASTM Std. D 150-95 "Standard Test Methods for AC Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulation" using a three terminal cell for solids. Test 2: A full sample section resistance test was performed over a one-foot-long section of complete cross arm.

**Procedure/Results****Test 1: Volume Resistivity**

A 4" x 4" sample section was cut from the composite cross arm and machined to a uniform thickness of 0.152 inches. This sample section was inserted into the three-terminal resistivity cell and tested at 1 kV. The measured volume resistivity was  $5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$ ; therefore, the conductivity was  $2 \times 10^{-13} \text{E mho per meter}$ .

**Test 2: Full Sample Section Resistance**

Two 1" wide aluminum foil electrodes were wrapped around the composite cross arm 12" apart. One electrode was connected to a 10 kV ac high voltage source. The second electrode was connected to a device for measuring the in-phase current (DCDMAM). A reference electrode was placed on top of the second electrode and isolated with a clear 1 kV rated sheet. The measured full sample section resistance was  $8.45 \times 10^8 \Omega$ ; therefore, the conductance was  $1.18 \times 10^{-9} \text{ mho}$ .

High voltage dc testing was not possible due to difficulties in achieving a stable testing environment.

*Appendix F Electrical Testing Results*

March 30, 1999  
CL-212149.000  
Page 2

**Summary**

Conductivity: (Based on Volume Resistivity)  $2 \times 10^{-13}$  mho per meter  
Conductance: (Based on Full Sample Section)  $1.18 \times 10^{-9}$  mho

The following two conductivity values are provided as a reference.

Conductivity: Phenolic	$1 \times 10^{-11}$ mho per meter
Polyvinyl chloride	$1 \times 10^{-12}$ mho per meter

If you have any questions concerning this inspection, please call me at (614) 836-4257.

Sincerely



Jan Paul Lenko

c: D.K. Nichols/K.P. Loving - Dolan Lab  
CL-212149.000

## **ANEXO C**

POWERING PROGRESS THROUGH  
SCIENCE AND TECHNOLOGY



June 4, 1999

Mr. James Moore  
Crossarm, Inc.  
1710 Westair  
Gainesville, TX 76240

Subject: Lightning impulse tests on nonconducting cross arm

Dear Mr. Moore:

It gives me great pleasure to inform you that lightning tests on your crossarm have been completed successfully.

In order to simulate a typical 25 kV distribution pole, the crossarm was mounted on a wood pole about 35 ft above ground. The arm was supported by typical wood braces, provided by you, and the insulator (also provided by you) was mounted at the end of the arm. The conductor was attached to the insulator. As is typical for distribution lines, the arm mounting bolt, the bolts on the braces and the insulator pin were not connected to ground.

The BIL value for 25 kV poles with wood arms is 150 kV. The test voltage was raised up to 450 kV for your nonconducting crossarm, which is three times the required BIL value, without failure.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'George Gela'. The signature is written in a cursive style with a large initial 'G'.

George Gela

ENERGY DELIVERY & UTILIZATION CENTER  
115 East New Lenox Road | Lenox | MA | 01240 | USA  
Tel 413.499.5701 | Fax 413.499.5718

CORPORATE HEADQUARTERS  
3412 Hillview Avenue | P.O. Box 10412 | Palo Alto | CA 94303-0813 | USA  
Tel 650.655.2000 | www.epri.com

POWERING PROGRESS THROUGH  
SCIENCE AND TECHNOLOGY

June 14, 1999



Mr. James Moore  
Crossarm, Inc.  
1710 Westair  
Gainesville, TX 76240

Subject: Lightning impulse and AC dry and wet tests on non-conducting cross arm

Dear Mr. Moore:

Per your request, electrical tests were conducted at the EPRI-Lenox laboratory on the non conducting cross arm supplied by you. This letter report states the purpose of tests, discusses the test setups and equipment, outlines the test procedures, summarizes the results obtained, and presents conclusions.

Two types of tests were authorized by Crossarm, Inc. and performed at Lenox:

- Lightning impulse tests, dry
- AC tests (dry and wet)

It should be noted that, based on mechanical tests performed on this model of the crossarm earlier this year at the EPRI-Haslet laboratory, the anticipated rated voltage of structures that would utilized the non-conductive arms is 25 kV.

## **Purpose of Lenox Tests**

The purpose of the **lightning impulse** tests is to confirm that the arm assembly (which includes the insulator provided by Crossarm, Inc.) is capable of withstanding lightning-related overvoltages expected on typical 25 kV distribution lines. The lightning impulse test verifies the **general external configuration** of the structure and serves to confirm that the **air distances** between metal parts are sufficient to withstand the stresses. For these reasons, the test is normally performed under dry conditions, even though moisture (rain) may accompany lightning occurrences during thunderstorms.

The purpose of the **AC tests (dry and wet)** is to confirm that the arm assembly, (which includes the insulator provided by Crossarm, Inc.) is capable of withstanding the steady-state AC stresses (dry and wet) of typical 25 kV distribution lines. Performance of dry materials is invariably superior to their

ENERGY DELIVERY & UTILIZATION CENTER  
115 East New Lenox Road | Lenox | MA | 01240 | USA  
Tel 413.499.5701 | Fax 413.499.5718

CORPORATE HEADQUARTERS  
3412 Hillview Avenue | P.O. Box 10412 | Palo Alto | CA | 94303-0813 | USA  
Tel 650.655.2000 | www.epri.com

wet performance. For this reason, the test is performed under wet (rain) conditions. Dry tests serve as a convenient benchmark.

## Lenox Test Setups

Lightning impulse tests, dry, were performed outdoors. AC tests, both wet and dry, were performed in the EPRI-Lenox fog chamber which is equipped with a rain spray systems that conforms to accepted industry standards [1]. The same test setup was used for dry (rain spray system off) and wet (rain spray system on) tests.

### *Lightning Impulse Test Setup*

For the lightning impulse tests, the non-conductive arm and support braces were mounted on an existing wood pole approximately 35 ft above ground. The insulator, provided by Crossarm, Inc., was installed at the end of the arm and the phase conductor (Ibis) was attached to the insulator, see Fig. 1.

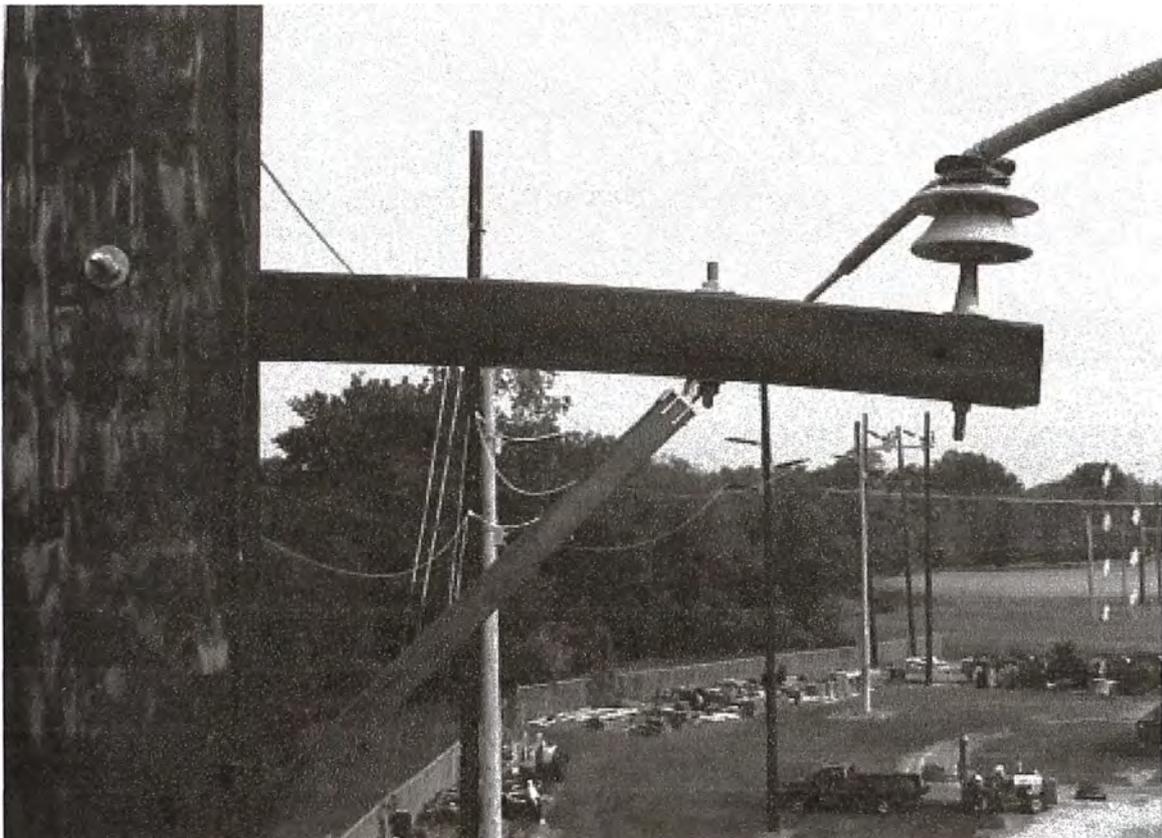


Figure 1. Photograph showing the setup for lightning tests with the support insulator.

The insulator mounting bolt and the crossarm mounting bolt were not connected to the pole ground. This is the normal arrangement for distribution lines (the pole ground was about 8 inches away from the arm mounting bolt, see Fig. 1, and its presence does not affect the performance of the non-conductive arm assembly).

Tests were conducted with the insulator removed and the conductor placed directly on the non-conductive arm, see Fig.2

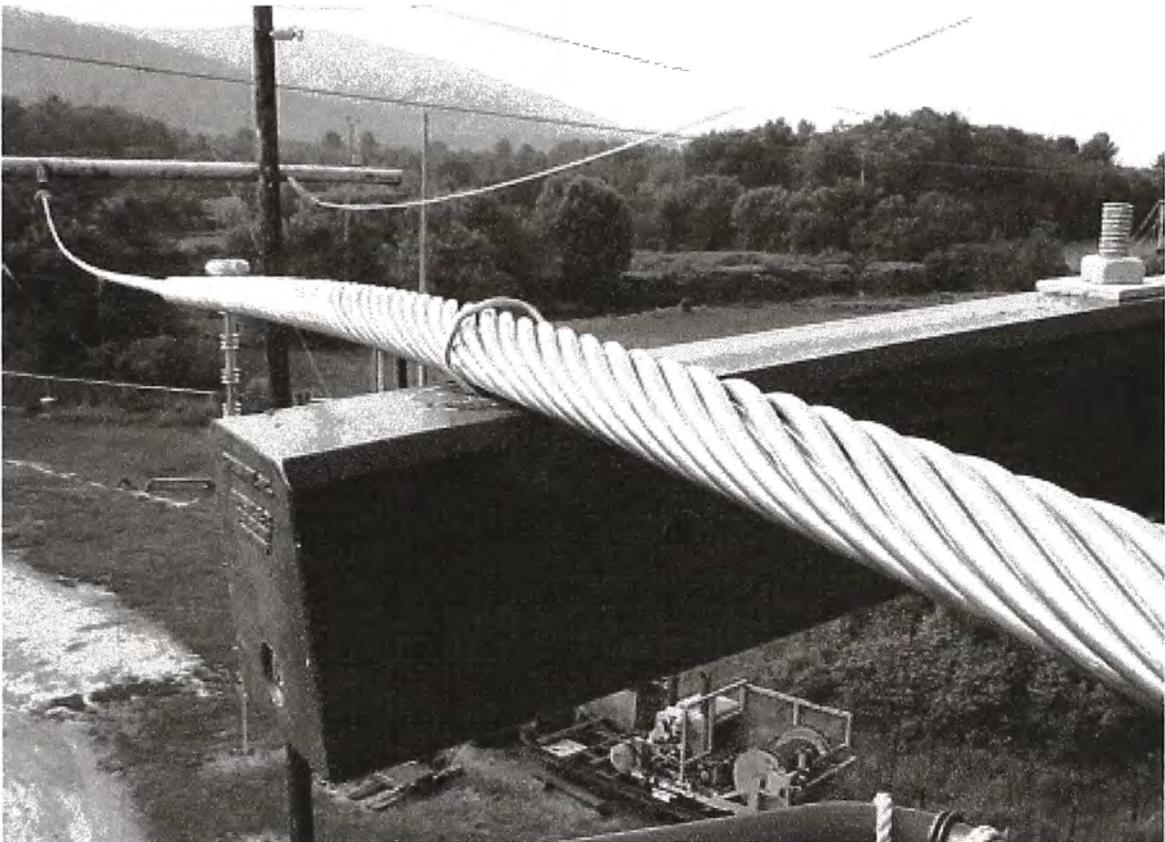
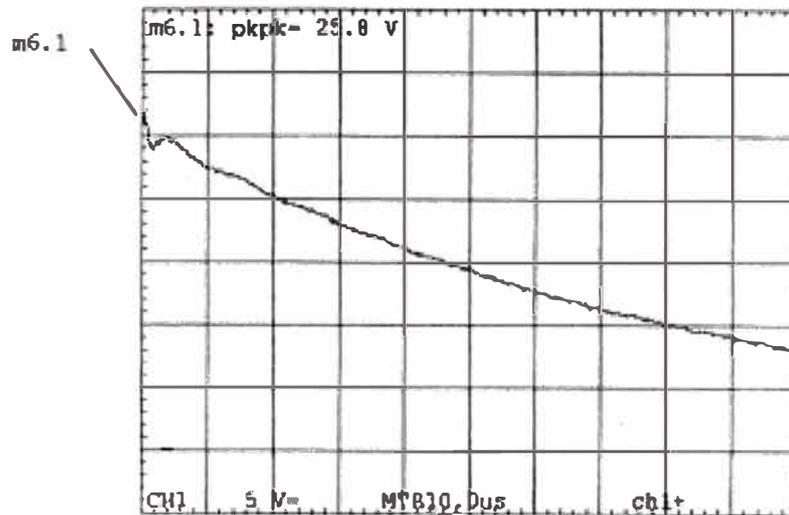


Figure 2. Photograph showing the setup for lightning tests without the support insulator.

The portable 500 kV lightning impulse generator test system, consisting of a portable impulse generator mounted on a trailer, a 9.3 k $\Omega$  shielded resistive voltage divider RVD500 (black column with red ring) with a 50:1 low voltage arm and a 0.00639  $\mu$ F front wave shaping capacitor (brown column) were used for lightning impulse tests, see Fig.3. The wave shape, shown in Fig.4, was recorded using a digital oscilloscope shown in see Fig.5, which also shows the generator control module.



Figure 3. Photograph of the lightning impulse generator test system



Y/Div: 5.00 V  
 Timebase: 10.0us  
 TRACE  
 m6.1

Fig 4. Printout of the lightning impulse test wave trace



Figure 5. Photograph of the impulse generator control module and the digital oscilloscope for recording the lightning impulse wave

### ***AC Test Setup***

For the AC tests, the non-conductive arm and support braces were mounted on a wood pole in the EPRI-Lenox fog chamber. Tests were performed with the 25 kV support insulator installed and also without the insulator. For tests without the insulator, the conductor, represented by a steel pipe, was placed on a rubber support provided by Crossarm, Inc. The purpose of this support is to prevent accumulation of rainwater at the conductor-arm interface during wet tests. Fig.6 shows the test setup for a wet AC test in the EPRI-Lenox fog chamber. Fig.7 shows a close-up of the setup without the insulator.

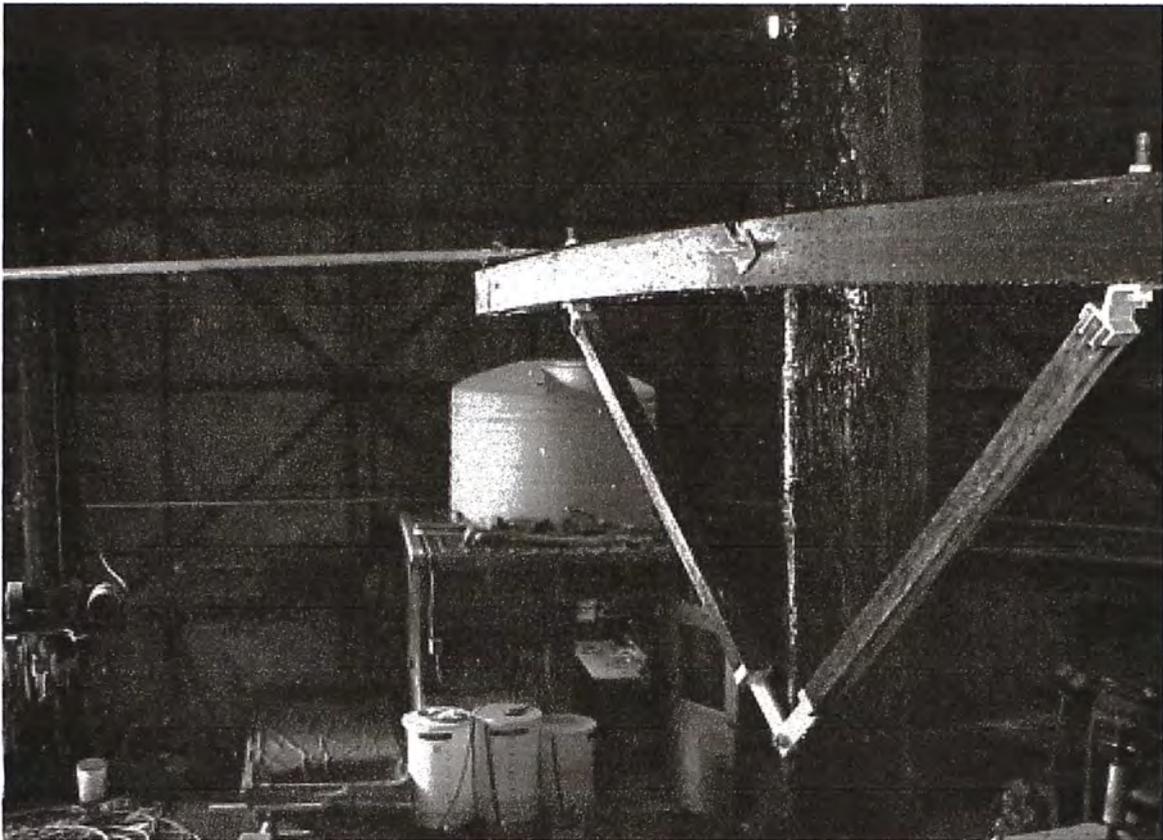


Figure 6. Photograph showing the setup for AC tests without the support insulator.

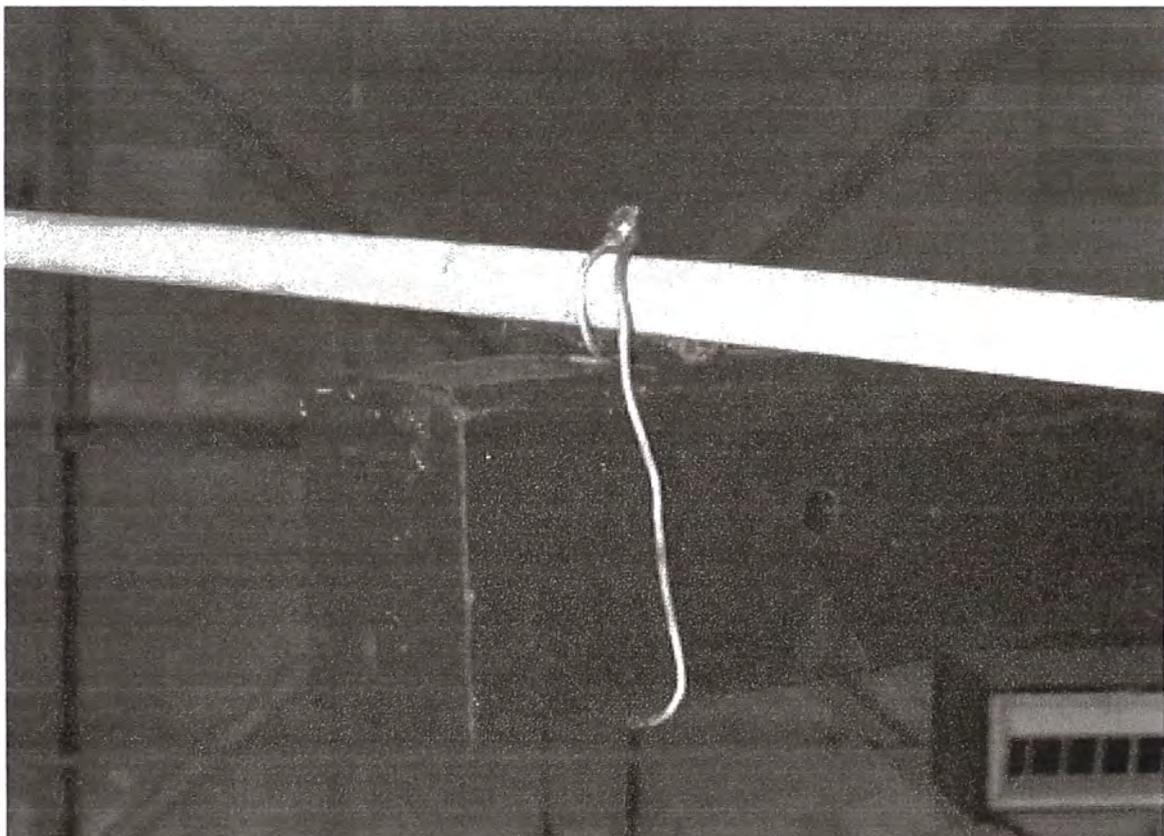


Figure 7. Photograph showing a close-up of the setup for AC tests without the support insulator.

Tests were conducted in accordance with accepted industry standards [1].

## Lightning Impulse Tests

A lightning impulse is a rapidly rising voltage wave that is applied to the test object. The magnitude of the impulse is preset prior to the application of the impulse, and it is not possible to predict whether any particular impulse will cause flashover of the test object, or whether the test object will withstand the applied impulse. Flashover is probabilistic in nature. Therefore, it is necessary to apply a large number of impulses in order to determine the probability of flashover at any particulate voltage level. A simplified procedure to determine the 50% probability of flashover (and, at the same time, 50% probability of withstand) is called the “up-and-down” method. The up-and-down method consists of the following steps:

- The impulse generator is pre-set to produce an impulse with a certain magnitude.
- The impulse is applied to the test object.
- If the applied impulse results in a withstand, the generator is set to produce an impulse with a slightly larger magnitude for the next impulse application. If, on the other hand, the applied impulse results in a flashover, the generator is set to produce an impulse with a slightly smaller magnitude for the next impulse application.
- The above step is repeated about 30 to 50 times.
- Well-established formulae are used to calculate the 50% probability of flashover voltage,  $U_{50}$ , of the test object.

Of course, it is possible that flashovers do not occur until unreasonably high impulse magnitudes are reached. In this case, it is sufficient to record the applied voltage and to interpret it as a withstand level.

## AC Tests

AC tests were conducted by applying a known voltage to the test object and holding the voltage fixed for a period of one hour. For wet tests, the rain spray system was adjusted to produce rain accumulation of about 2 cm/min.

In order to avoid the possibility of flashover upon energization (i.e., transients that could occur when the AC voltage is first switched on), the AC voltage source is normally adjusted [1] to about 75% of the desired final value, and the voltage is raised at a fixed rate until the desired voltage is reached or flashover occurs.

In general, the non-conductive arm assembly withstood test voltage levels that correspond to the 25 kV system voltage rating.

### ***Lightning Impulse Tests***

The rated lightning impulse voltage, or BIL (Basic Impulse Insulation level), for the 25 kV system voltage level is 150 kV. When lightning impulse with this magnitude were applied to the non-conductive arm assembly both with and without the insulator, see Figs.1 and 2, no flashovers occurred.

Therefore, the assembly withstands the required BIL for 25 kV system voltage level.

Next, lightning impulse magnitude was increased to about 450 kV. Again, the assembly, with and without the insulator, withstood this level.

There, the assembly withstands BIL up to 450 kV. It is important to note that BIL of 450 kV corresponds to system voltage level of 115 kV. Therefore, the assembly withstands the required BIL for 115 kV system voltage level.

### **AC Tests**

Based on the better-than-expected performance of the non-conductive arm assembly under lightning impulse regime, it was decided jointly by Crossarm, Inc. and EPRI to perform AC tests at a voltage level corresponding to 115 kV without the 25 kV insulator.

The 115 kV value is phase-to-phase (i.e., it is the voltage between wires). Insulator tests are performed at the nominal maximum system voltage, which is 5% above the rated system voltage. Also, insulators tests are performed at phase-to-ground voltage, since this is the voltage experienced by insulators in service. The maximum nominal value is obtained from the rated value by adding 5%, or by multiplying by 1.05 : maximum nominal voltage=1.05 x rated voltage, i.e.,  $1.05 \times 115 = 121$  kV phase-to-phase.

The phase-to-ground value is obtained by dividing the phase-to-phase value by square root of 3 i.e., the test phase-to-ground voltage is  $121 / \sqrt{3} = 70$  kV phase-to-ground.

For the first AC test, the arm assembly was dry and the applied voltage was initially set 59 kV and held at this level for a minute or two. Then, the applied voltage was raised to the target voltage of 70 kV phase-to-ground. Actually, due to test transformer characteristics, the test voltage of 71 kV was used. The applied voltage was held at this level for 1 hour, and no electrical activities were observed.

Therefore, the non-conductive crossarm assembly passed the dry AC 115 kV phase-to-phase test.

Subsequently, without de-energizing the assembly, the rain spray was turned on. Significant corona activity was observed within minutes of the initiation of the rain spray. The intensity of the corona activity increased, a small fire developed near the conductor and heavy corona was observed at the bolt on the pole, as well as on the wooden support brace. Flashover along the arm occurred about 6 to 7 minutes after initiation of the rain spray.

Therefore, the non-conductive crossarm assembly failed the wet AC 115 kV phase-to-phase test.

Upon further consultation with Crossarm, Inc. it was decided to install the 25 kV insulator and to repeat the wet AC test at voltages corresponding to 25 kV, 44kV and 69 kV.

The non-conductive crossarm assembly with the 25 kV insulator installed passed all wet AC tests up to 69 kV.

### **Lenox Testing Conclusions**

In view of the above limited test results, the non-conductive arm assembly is capable of withstanding lightning and wet AC steady-state stresses up to the 69 kV system voltage level provided the insulator is installed.

Without the insulator, there is a danger of destruction of the arm at 69 kV and possibly 44 kV system voltage levels.

## **References**

[1] IEEE Std 4-1995, "IEEE Standard Techniques for High Voltage Testing"

It has been a pleasure to work on this project.

Sincerely,

George Gela, Ph.D., P.Eng

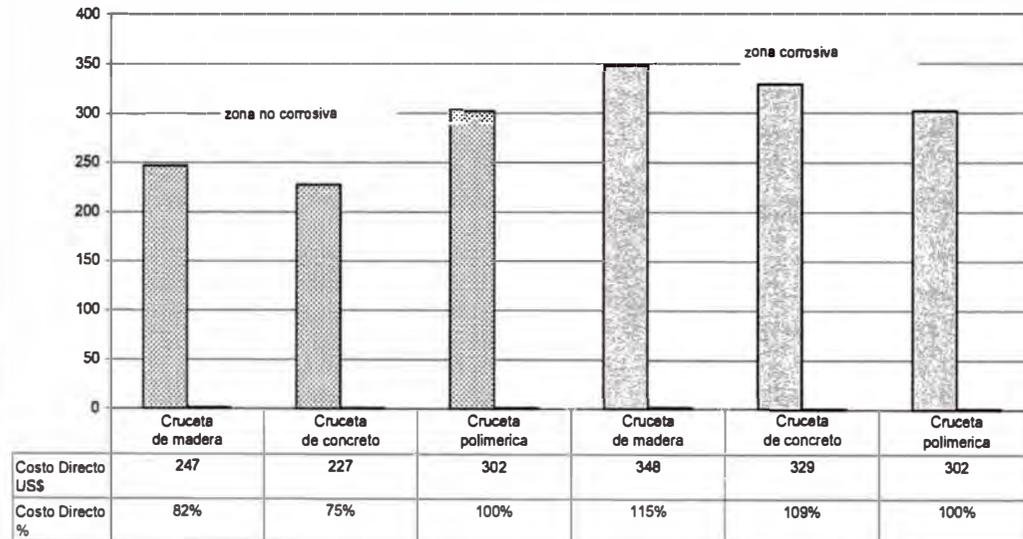
## **ANEXO D**

## DETALLE EVALUACION ECONOMICA

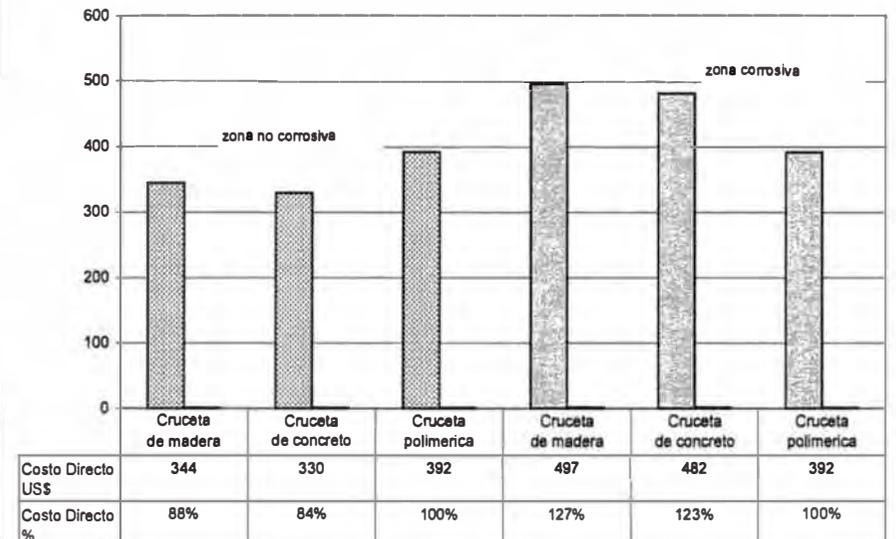
### CONSOLIDADO DE COSTOS DIRECTOS DE ARMADOS ALINEAMIENTO VERTICAL MT

	Tipo Cruceta	SISTEMA 10 KV		SISTEMA 22,9 KV		SISTEMA 10 KV		SISTEMA 22,9 KV	
		Costo Material 10 kV US\$	Costo Mano Obra 10 kV US\$	Costo Material 22,9 kV US\$	Costo Mano Obra 22,9 kV US\$	Costo Directo US\$	Costo Directo %	Costo Directo US\$	Costo Directo %
ZONA NO CORROSIVA	Cruceta de madera	166,13	80,5	255,47	88,9	247	82%	344	88%
	Cruceta de concreto	148,07	79,1	242,07	87,5	227	75%	330	84%
	Cruceta polimerica	221,53	80,5	302,77	88,9	302	100%	392	100%
ZONA CORROSIVA	Cruceta de madera	267,92	80,5	407,87	88,9	348	115%	497	127%
	Cruceta de concreto	249,86	79,1	394,47	87,5	329	109%	482	123%
	Cruceta polimerica	221,53	80,5	302,77	88,9	302	100%	392	100%

COSTO DIRECTO ARMADO ALINEAMIENTO TRIANGULAR 10 KV



COSTO DIRECTO ARMADO ALINEAMIENTO TRIANGULAR 22,9 KV



**COSTOS DIRECTOS DE ARMADOS DE ALINEAMIENTO TRIANGULAR EN 10KV ZONA NO CORROSIVA**

**ANALISIS COSTO CRUCETA MADERA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta de madera de 4X 4X 4 pies	12,7	1	4,6
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador porcelana tipo PIN 10KV	4,89	3	14,7
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			166,1

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			80,5

<b>Total</b>			<b>246,6</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA CONCRETO**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta de C.A. Z/1.20/300-275MMD	10,54	1	10,5
Aislador porcelana tipo PIN 10KV	4,89	3	14,7
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			148,1

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	10,7	1	10,7
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			79,1

<b>Total</b>			<b>227,2</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA POLIMERICA**

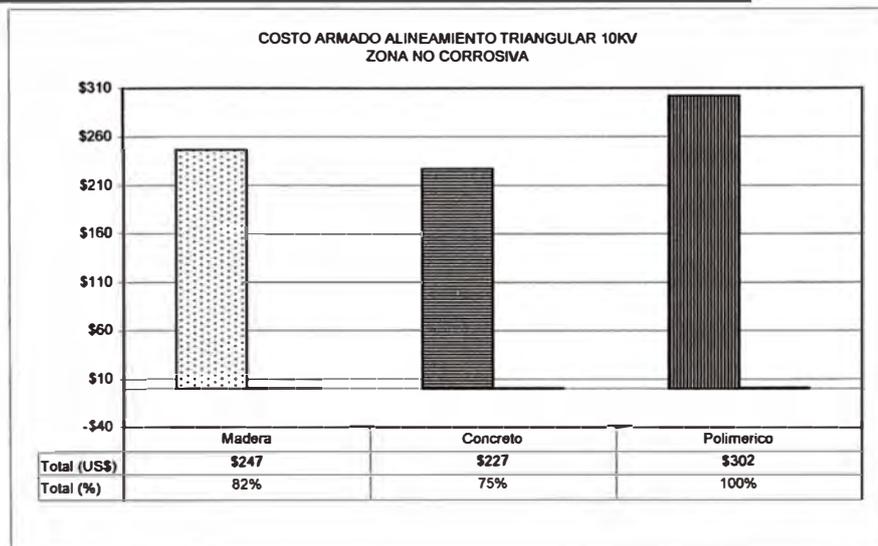
Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta polimerica	60	1	60,0
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador porcelana tipo PIN 10KV	4,89	3	14,7
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			221,5

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			80,5

<b>Total</b>			<b>302,0</b>
--------------	--	--	--------------

**Resumen Analisis de Costos**

	Total (US\$)	Total (%)
Madera	\$247	82%
Concreto	\$227	75%
Polimerico	\$302	100%



**COSTOS DIRECTOS DE ARMADOS DE ALINEAMIENTO TRIANGULAR EN 10KV ZONA CORROSIVA**

**ANALISIS COSTO CRUCETA MADERA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta de madera de 4X 4X 4 pies	12,7	1	4,6
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador hibrido tipo PIN 10 KV.	38,82	3	116,5
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			267,9

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			80,5

<b>Total</b>			<b>348,4</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA CONCRETO**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta de C.A. Z/1.20/300-275MMD	10,54	1	10,5
Aislador hibrido tipo PIN 10 KV.	38,82	3	116,5
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			249,9

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	10,7	1	10,7
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			79,1

<b>Total</b>			<b>329,0</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA POLIMERICA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 11.5/200/150/323 L.A. 10-22.9 KV	118,36	1	118,4
Cruceta polimerica	60	1	60,0
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador porcelana tipo PIN 10KV	4,89	3	14,7
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			221,5

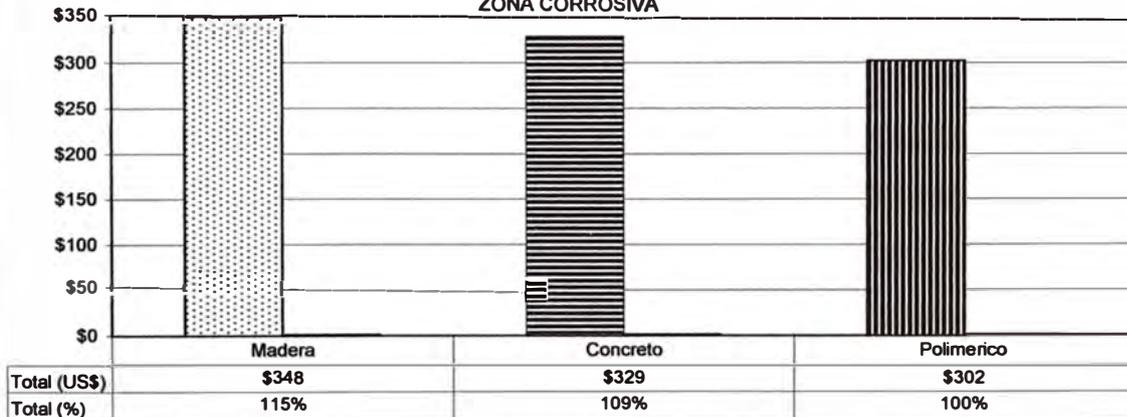
Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 11,5m	59	1	59,0
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			80,5

<b>Total</b>			<b>302,0</b>
--------------	--	--	--------------

**Resumen Analisis de Costos**

	Total (US\$)	Total (%)
Madera	\$348	115%
Concreto	\$329	109%
Polimerico	\$302	100%

**COSTO ARMADO ALINEAMIENTO TRIANGULAR 10KV  
ZONA CORROSIVA**



**COSTOS DIRECTOS DE ARMADOS DE ALINEAMIENTO TRIANGULAR EN 22,9KV ZONA NO CORROSIVA**

**ANALISIS COSTO CRUCETA MADERA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta de madera de 223 X 9X 11,5 cm 22,9 KV	12,7	1	12,7
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador Porcelana tipo PIN 22,9KV	10,7	3	32,1
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			255,5

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecución de amarre	0,2	3	0,6
			88,9

<b>Total</b>			<b>344,4</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA CONCRETO**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta de C.A. Z/2.4/600 -275MMD. 22,9 KV	23,3	1	23,3
Aislador Porcelana tipo PIN 22,9KV	10,7	3	32,1
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			242,1

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	10,7	1	10,7
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecución de amarre	0,2	3	0,6
			87,5

<b>Total</b>			<b>329,6</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA POLIMERICA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta polimerica	60	1	60,0
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador Porcelana tipo PIN 22,9KV	10,7	3	32,1
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			302,8

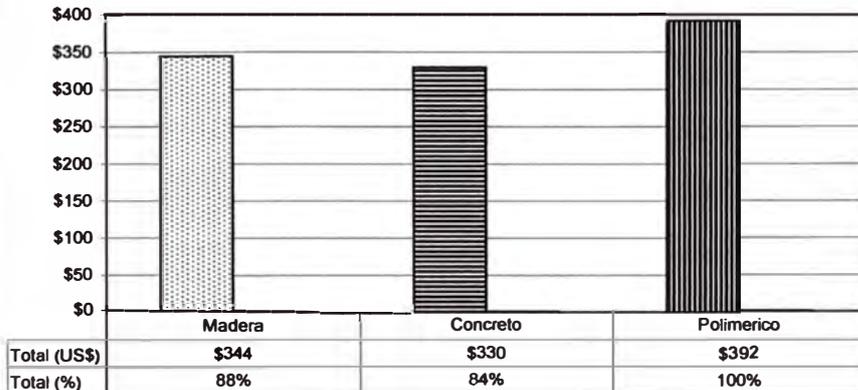
Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecución de amarre	0,2	3	0,6
			88,9

<b>Total</b>			<b>391,7</b>
--------------	--	--	--------------

**Resumen Analisis de Costos**

	Total (US\$)	Total (%)
Madera	\$344	88%
Concreto	\$330	84%
Polimerico	\$392	100%

**COSTO ARMADO ALINEAMIENTO TRIANGULAR 22,9KV  
ZONA NO CORROSIVA**



**COSTOS DIRECTOS DE ARMADOS DE ALINEAMIENTO TRIANGULAR EN 22,9KV ZONA CORROSIVA**

**ANALISIS COSTO CRUCETA MADERA**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta de madera de 223 X 9X 11,5 cm 22,9 KV	12,7	1	12,7
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador Polimerico tipo Pin 22,9KV	61,5	3	184,5
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			407,9

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			88,9

<b>Total</b>			<b>496,8</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA CONCRETO**

Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta de C.A. Z/2.4/600 -275MMD. 22,9 KV	23,3	1	23,3
Aislador Polimerico tipo Pin 22,9KV	61,5	3	184,5
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			394,5

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	10,7	1	10,7
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			87,5

<b>Total</b>			<b>482,0</b>
--------------	--	--	--------------

**ANALISIS COSTO CRUCETA POLIMERICA**

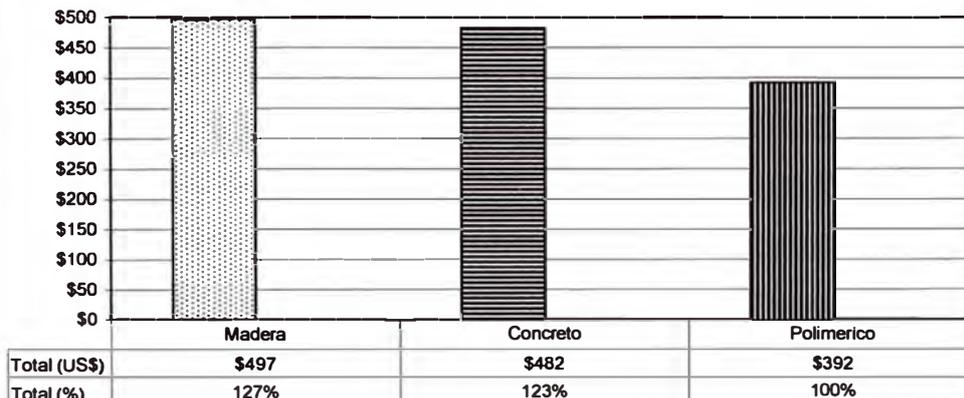
Material	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
Poste C.A. 13.00/300/180/375 L.A. 10-22.9 KV	182,2	1	182,2
Cruceta polimerica	60	1	60,0
Diagonal de cruceta	12,0	2	24,0
Aislador Porcelana tipo PIN 22,9KV	10,7	3	32,1
Amarre Preformado	1,5	3	4,5
			302,8

Mano de Obra	Costo	Cant.	Subtotal (US\$)
instalación Poste 13m	67,4	1	67,4
instalación Cruceta	6,7	1	6,7
Instalación diagonal	2,7	2	5,4
Instalación aislador en cruceta	2,5	2	5,0
Instalación aislador en punta de poste	3,8	1	3,8
Ejecucion de amarre	0,2	3	0,6
			88,9

<b>Total</b>			<b>391,7</b>
--------------	--	--	--------------

Resumen Analisis de Costos		
	Total (US\$)	Total (%)
Madera	\$497	127%
Concreto	\$482	123%
Polimerico	\$392	100%

**COSTO ARMADO ALINEAMIENTO HORIZONTAL 22,9KV  
POR TIPO DE CRUCETA**



## **ANEXO E**

## TÉRMINOS USUALES

Este anexo presenta la interpretación de los términos usuales relacionados al tema y que son utilizados en el informe con referencia a aspectos relacionados con el dimensionamiento de las crucetas, propiedades mecánicas y propiedades eléctricas.

1. Carga de trabajo. Carga que soporta una cruceta o ménsula en condiciones normales de trabajo. Se considera aplicada en los agujeros destinados a la sujeción de los aisladores. Es asignada por el fabricante según sus componentes tridimensionales.
2. Carga de trabajo transversal ( $R_x$ ). Resultante de todas las cargas en dirección horizontal aplicada a la altura del conductor y perpendicular al eje de la cruceta o ménsula (paralelo al conductor).
3. Carga de trabajo vertical ( $R_y$ ). Resultante de todas las cargas en dirección vertical hacia abajo.
4. Carga de trabajo longitudinal ( $R_z$ ). Resultante de todas las cargas en dirección horizontal aplicada a la altura del conductor y paralela al eje de la cruceta o ménsula (perpendicular al conductor).
5. Longitud nominal de una cruceta. Distancia entre los centros de agujeros o partes de agujeros externos para la fijación de aisladores o cadenas de aisladores, respectivamente.
6. Longitud nominal de una ménsula. Distancia entre el centro del agujero, o par de agujeros más próximo al extremo y el centro del ojo de la ménsula.
7. Critical Flashover Voltage (CFO). Es la tensión de flameo de impulso crítico, el cual se define como el nivel de tensión al cual estadísticamente existe el 50% de probabilidad de flameo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dirección General de Electricidad - DGE Dirección de Promoción y Estudios, "Electricidad Anuario Estadístico 2004", Ministerio de Energía y Minas – Lima, 2005.
- [2] Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria, "Anuario Estadístico 2004", OSINERG – Perú, 2005.
- [3] Dirección General de Electricidad - DGE, "D. S. N° 020-97-EM.- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 1997.
- [4] Dirección General de Electricidad - DGE, "Especificaciones Técnicas para el Suministro de Materiales y Equipos de Líneas y Redes Primarias para Electrificación Rural", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 2003.
- [5] Dirección General de Electricidad - DGE, "Bases para el Diseño de Líneas y Redes Primarias para Electrificación Rural", Ministerio de Energía y Minas – Lima, 2003.
- [6] Dirección General de Electricidad - DGE, "Código Nacional de Electricidad – Tomo IV", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 1978.
- [7] Dirección General de Electricidad - DGE, "Código Nacional de Electricidad – Suministro", Ministerio de Energía y Minas – Perú, 2001.
- [8] José J. Fernández, "Propiedades Eléctricas de la Madera: Conductividad, Comportamiento Dieléctrico y Piezoelectricidad", Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes – Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [9] Adolfo Cano Hencker, "Guía para Mejorar el Comportamiento Bajo Descargas tipo Rayo de las Líneas Aéreas de Distribución Eléctrica según STD IEEE 1410", Electroporcelana GAMMA S.A – Colombia, 2005.
- [10] Tom Short, "Application of the IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines (Std. 1410-1997)" Working Group Chair, Power Technologies, Inc 1999.
- [11] Hermes R. P. M. de OLIVEIRA, Renato OLING, "Analyze of Distribution Lines Class 25 kV under Direct Lightning Strokes or Lightning Induced, UNIFEI – Univerisdade Federal de Itajubá, 2003
- [12] Hidrometeorología, "Clima en la sierra y selva", Portal Agrario – Ministerio de Agricultura – Perú, 2006
- [13] Dirección General de Electricidad - DGE, "Norma de Postes, Crucetas y Ménsulas

- de Madera y Concreto Armado para Redes de Distribución”, Ministerio de Energía y Minas – Perú, 1978.
- [14] Raúl Guerrero Torres, “La Resistividad Eléctrica, Propiedad Fundamental en la Corrosión del Concreto Reforzado”, Universidad de Cartagena – Colombia, 1999
- [15] IP-011-2001, “Crossarm Crucetas y Ménsulas de Compuesto Polimérico”, Procetradi – Perú, 2001.
- [16] Crossarm Inc, “Welcome to CrossArm Inc”, Crossarm Inc – Texas, 2001.
- [17] American Electric Power (AEP) , “Composite Cross Arm Conductivity Tests: EPRI”, AEP – Ohio – USA, 1999.
- [18] Electric Power Research Institute (EPRI), “EPRI Mechanical Test”, EPRI - California – USA, 1999.
- [19] Electric Power Research Institute (EPRI), “EPRI Lightning Impulse Test”, EPRI - California –USA, 1999.
- [20] Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria (GART), “Valor Nuevo de Reemplazo de las Instalaciones de Distribución Eléctrica”, Anexo 3 “Costos Estándares de Inversión de las Instalaciones de Distribución Eléctrica”, OSINERG, 2005.
- [21] Justo Yanque, “Alta Tensión y Técnicas de Pruebas de Laboratorio”, Universidad Nacional de Ingeniería – Perú, 2004.