



## DOCUMENTO DE TRABAJO

# CONVERGENCIA DE CRITERIOS DE DISEÑO DE LINEAS AEREAS DE ALTA TENSION

GERENCIA DE PROCESOS TECNICOS  
LINEA DE NEGOCIO DE DISTRIBUCION REGIONAL  
ENERO 2002



## DOCUMENTO DE TRABAJO

# CONVERGENCIA DE CRITERIOS DE DISEÑO DE LINEAS AEREAS DE ALTA TENSION

<b>Preparada por:</b> Subgerencia Ingeniería y Obras AT GERENCIA PROCESOS TÉCNICOS LNDR - CHILECTRA	<b>Aprobada por:</b> CERJ – Gerencia de Ingeniería CHILECTRA S.A. – Subgerencia Planif. e Ing. CODENSA S.A.E.S.P. – Gerencia de Distribución COELCE – Subgerencia de Ingeniería EDELNOR S.A.A. – Gerencia Técnica EDESUR S.A. – Dirección de Distribución	<b>Emitida por:</b> Subgerencia de Ingeniería y de Obras AT GERENCIA DE PROCESOS TÉCNICOS <b>LÍNEA DE NEGOCIO DE DIST. REGIONAL</b>
<b>Editada</b> : 27 de septiembre de 2001 <b>Revisada</b> : 31 de enero de 2002		



## INDICE

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ALCANCE.....</b>	<b>4</b>
<b>4. CRITERIOS GENERALES. ....</b>	<b>5</b>
4.1. FUNCIONALIDAD DE LAS INSTALACIONES. ....	5
4.2. TECNOLOGÍA.....	5
4.3. MEDIO AMBIENTE. ....	5
4.4. CONDICIONES DE TRABAJO.....	6
4.5. CONFIABILIDAD Y COSTOS. ....	6
4.6. CUMPLIMIENTO DE NORMAS Y REGLAMENTACIONES EXISTENTES. ....	6
<b>5. CONDICIONES METEOROLOGICAS. ....</b>	<b>7</b>
<b>6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AT. ....</b>	<b>9</b>
<b>7. CONDUCTORES DE FASE.....</b>	<b>10</b>
<b>8. CABLES DE GUARDA .....</b>	<b>10</b>
<b>9. AISLADORES .....</b>	<b>11</b>
<b>10. ESTRUCTURAS DE APOYO.....</b>	<b>12</b>
<b>11. HERRAJES .....</b>	<b>13</b>
<b>12. CONDICIONES GENERALES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO .....</b>	<b>13</b>
<b>ANEXO 1. EDELNOR: CRITERIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA .....</b>	<b>15</b>



## 1. INTRODUCCION

Durante el año 2001 se desarrollaron diferentes actividades correspondientes al Proyecto Convergencia de Criterios de Diseño de Líneas Aéreas de Alta Tensión, siendo las principales las que se indican a continuación:

- Recopilación de información de parte de las Empresas del GRUPO ENERSIS acerca de sus diseños típicos actualmente en uso.
- Análisis y resumen de la información recibida.
- Preparación de un Documento de Trabajo titulado “Criterios Funcionales de Diseño y Construcción de Líneas Aéreas AT”.
- Desarrollo de una Reunión Corporativa de intercambio de experiencias y análisis del Documento de Trabajo (Octubre 2001).
- Envío, por parte de las Empresas, de información adicional, según lo acordado en la Reunión Corporativa.

El presente documento constituye la versión revisada del Documento de Trabajo inicial, en la cual se han incorporado los acuerdos adoptados en la Reunión Corporativa de Octubre, así como también la información enviada por las Empresas.

## 2. OBJETIVO.

El objetivo del presente documento es definir los criterios de diseño de las nuevas Líneas Aéreas de Alta Tensión (LAAT) de las Empresas Distribuidoras del Grupo ENERSIS.

## 3. ALCANCE.

Las conclusiones y/o recomendaciones de este documento son de aplicación obligatoria en todas las nuevas LAAT de las Empresas Distribuidoras del Grupo ENERSIS, y en las ampliaciones de líneas existentes, siempre que las condiciones particulares lo permitan.



## **4. CRITERIOS GENERALES.**

El diseño de las LAAT se realizará aplicando en forma integrada criterios generales relacionados con los siguientes aspectos:

- ✓ Funcionalidad de las instalaciones
- ✓ Tecnología
- ✓ Medio ambiente
- ✓ Condiciones de trabajo
- ✓ Confiabilidad y costos
- ✓ Cumplimiento de normas y reglamentaciones existentes

### **4.1. FUNCIONALIDAD DE LAS INSTALACIONES.**

- ✓ Elección de soluciones simples, con etapa inicial de construcción mínima.
- ✓ Diseños que permitan crecer para obtener las máximas demandas en el tiempo.
- ✓ Disposiciones físicas que permitan realizar el mantenimiento, reemplazo de elementos y ampliaciones futuras, con el mínimo de interrupciones de servicio.
- ✓ Para líneas críticas, disposiciones que permitan realizar el mantenimiento, reemplazo y ampliaciones aplicando técnicas de trabajos en líneas vivas.

### **4.2. TECNOLOGÍA.**

- ✓ Elección de materiales que garanticen elevada confiabilidad. La calidad de los materiales deberá asegurarse mediante las condiciones, criterios y exigencias señalados en las Especificaciones Corporativas, las cuales se basarán en las pruebas exigidas en las Normas internacionales aplicables.
- ✓ Elección de materiales que necesiten bajo o nulo mantenimiento.
- ✓ Preferencia por materiales con características estándares, es decir, que correspondan a las líneas normales de fabricación.
- ✓ Preferencia por elementos de conexión o de acople simples, sin pernos, para realizarlos a distancia mediante pértigas.
- ✓ Preferencia por el uso de grapas, uniones y conectores a compresión, para los conductores.
- ✓ Previsión de instalación de cable de guarda con cable de fibra óptica, cuando se requiera.
- ✓ Incorporación de materiales con nueva tecnología sólo cuando se tenga demostrada suficiente experiencia en líneas en operación.

### **4.3. MEDIO AMBIENTE.**

- ✓ Aplicación de medidas para atenuar los efectos negativos durante la construcción.
- ✓ Aplicación de medidas relativas a minimizar el impacto visual.
- ✓ Aplicación de medidas para prevenir y disminuir el ruido, y atenuar el corte y poda de árboles.



- ✓ Desarrollo de proyectos que permitan ampliaciones con el mínimo de actividades futuras que afecten el medio ambiente.

#### **4.4. CONDICIONES DE TRABAJO.**

- ✓ Facilidad y seguridad para el personal durante la etapa de construcción y en las labores de mantenimiento.
- ✓ Ausencia de obstáculos en franjas de servidumbre.
- ✓ Identificación de las estructuras y circuitos.
- ✓ Señalización adecuada de los riesgos eléctricos, mecánicos, etc.

#### **4.5. CONFIABILIDAD Y COSTOS.**

- ✓ Elección de conductores, aislación, estructuras y materiales basados en la obtención de los mejores índices confiabilidad / inversión.
- ✓ Elección de materiales que permitan optimizar calidad, costos y plazos de construcción.

#### **4.6. CUMPLIMIENTO DE NORMAS Y REGLAMENTACIONES EXISTENTES.**

- ✓ Códigos eléctricos y Reglamentos de los países.
- ✓ Normas de higiene y seguridad industrial.
- ✓ Cumplimiento de los procedimientos de trabajo.



## 5. CONDICIONES METEOROLOGICAS.

Los parámetros meteorológicos y ambientales utilizados para el diseño de las LAAT en las distintas Empresas Distribuidoras del GRUPO ENERSIS son los siguientes:

	Unidad	CERJ	CODENSA	COELCE	CHILECTRA	EDELNOR	EDESUR
Altura sobre el nivel del mar	msnm	0 a 1.500	2.600	1.000	Normal hasta 1000 Especial hasta 1.500	1.000	1.000
Temperatura mínima absoluta	°C					5	-
Temperatura mínima promedio	°C					10	-
Temperatura media anual	°C					20	16
Temperatura máxima absoluta	°C					-	-
Temperatura máxima promedio	°C					30	-
Nivel de humedad máxima	%	.				100	90
Nivel de contaminación ambiental	IEC 60815	Alto (III)	Medio (II)	Muy alto (IV)	Medio (II)	Muy alto (IV)	Medio (II)
Nivel cerámico	días de tormenta/año	30	100	15	2.5	0	40
Presión atmosférica	mbar	N.D		942	942	-	1.013,25
Velocidad máxima del viento	km/hora					75	130
Velocidad promedio del viento	km/hora					-	30
Aceleración máxima del terreno por sismos	g	No se considera	No se considera	No se considera	No se considera	No se considera	No se considera



**Observaciones:**

1. EDESUR indica que el área de concesión de la Compañía está en la llamada Zona C, y sus datos son los siguientes:
  - a)  $T_{\text{máx}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 0$  (temperatura del conductor =  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
  - b)  $T_{\text{mín}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 0$
  - c)  $T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 130 \text{ km/h}$
  - d)  $T_{\text{máx}} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 30 \text{ km/h}$
  - e)  $T_{\text{med anual}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 0$



## 6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE AT.

En la Tabla siguiente se resumen las características principales de los sistemas eléctricos de Alta Tensión, existentes en las Empresas Distribuidoras del GRUPO ENERSIS.

CARACTERISTICA	CERJ	CODENSA	COELCE	CHILECTRA	EDELNOR	EDESUR
Frecuencia (Hz)	60	60	60	50	60	50
Voltaje nominal del sistema (kV)	-	-	-	-	-	-
AT1	-	230	230	220	220	220
AT2	138	115	-	110	-	132
AT3	69	-	69	66	60	-
Nivel cortocircuito simétrico (kA)	-	-	-	-	-	-
AT1	-	40	40	40	25	40
AT2	20	31,5	-	40	-	31,5
AT3	20	-	20	25	25/31,5	-
Nivel Aislamiento Um/Uf/Ui (kV)	-	-	-	-	-	-
AT1	-	245/530/850	245/460/1050	245/460/1050	245/460/1050	245/395/950
AT2	145/275/650	123/230/550	-	123/230/550	-	145/230/550
AT3	72,5/140/350	-	72,5/140/350	72,5/140/350	72,5/140/325	-
Conexión Transformador AT/MT	Dyn1	YNyn0(d1)	Dyn1	Dyn1	YNd11;YNd5	YNyn0
Conexión neutro	Aterrizado sólidamente	Aterrizado sólidamente	Aterrizado sólidamente o con resistencia	Aterrizado sólidamente o con resistencia	AT: Aterrizado sólidamente MT: neutro aislado	Aterrizado sólidamente

### **Observaciones:**

- En los datos de Nivel de Aislamiento, el significado de las variables es el siguiente:  
Um: voltaje máximo del equipo (kV<sub>ef</sub>)  
Uf: voltaje soportado de frecuencia industrial (kV<sub>ef</sub>)  
Ui: voltaje soportado de impulso de rayo (kV<sub>cresta</sub>)
- Para CODENSA, los niveles indicados de Ui son los requeridos a 2.600 metros sobre el nivel del mar.
- Para COELCE, el nivel de 230 kV corresponde a puntos de interconexión con la empresa generadora Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.
- Para CHILECTRA, el nivel de 66 kV corresponde a un sector reducido de la Empresa Río Maipo.



## 7. CONDUCTORES DE FASE

Los conductores normalizados para ser usados en las fases de las LAAT son los que se indican en la siguiente Tabla. Sus características más específicas están contenidas en la Especificación Corporativa E – LT – 001 “Conductores desnudos para líneas aéreas de alta tensión”.

Tipo	Sección transversal	N° de hilos	Diámetro de los hilos	Diámetro del conductor	Masa nominal	Carga de ruptura mínima	Capacidad corriente	Resistencia nominal máxima
	mm <sup>2</sup>		mm	mm	kg/km	kg	A	ohms/km
AAAC	200	19	3,66	18,3				0,164
AAAC	304	37	3,23	22,60	860	9331	540	0,108
AAAC	405	37	3,73	26,14				0,081
AAAC	491	61	3,2	29,20	1406	15076	860	0,067
AAAC	630	37	4,66	32,60				0,052

## 8. CABLES DE GUARDA

Los cables de guarda normalizados para uso en las LAAT son :

Cable de guarda	Tipo	Clase	Sección transversal	Formación	Diámetro nominal	Masa nominal	Carga de ruptura
			mm <sup>2</sup>	Hilos	mm	kg/km	kN
Acero Galvanizado	3/8”	EHS	51,08	7	9,14	406	71,2
Fibra óptica	OPGW	-	-	-	-	-	-

*Nota: Las filiales COELCE y EDELNOR no utilizan cable de guarda en sus líneas.*



## 9. AISLADORES

Los aisladores normalizados para las LAAT están definidos en la Especificación Corporativa E – LT – 002: “Aisladores poliméricos para líneas aéreas de alta tensión”.

Se agrupan según se señala en la siguiente Tabla:

GRUPO	Voltaje nominal (kV)	Voltaje soportado tipo impulso de rayo (kV)	Voltaje soportado a frecuencia industrial bajo lluvia (kV)
I	60, 69	325, 350	140
II	110, 115, 132, 138	550	230
III	220, 230	950	395
III	220, 230	1.050	460

Los diferentes tipos de aisladores poliméricos normalizados son los siguientes:

Denominación	Grupo	Tensión más elevada (kV)	Carga mecánica nominal mínima (kN)	Distancia de fuga mínima (mm)	Longitud máxima (mm)
CS 120 S16B16	I	72.5	120	2.000	730
CS 120 S16B16	I	72.5	120	2.330	850
CS 120 S16B16	I	72.5	120	2.330	1.000
CS 120 S16B16	II	145	120	2.900	1.314
CS 120 S16B16	II	145	120	2.900	1.500
CS 120 S16B16	II	145	120	4.148	1.314
CS 210 S20B20	II	145	210	2.900	1.314
CS 120 S16B16	III	245	120	5.320	2.044
CS 210 S20B20	III	245	210	5.320	2.044
CS 120 S16B16	III	245	120	7.815	3.000



## 10. ESTRUCTURAS DE APOYO

Los tipos de estructuras utilizadas actualmente por las Empresas son:

### 1. Metálicas de celosía.

Este tipo de estructuras son usadas por todas las filiales, excepto COELCE .

### 2. Postes metálicos

Este tipo de estructuras son usadas por todas las filiales, excepto COELCE (en 69 kV) y CERJ (en 138 kV).

### 3. Postes de hormigón

Son usados por CERJ (en 69 kV), COELCE (en 69 kV), CODENSA (en 115 kV) y EDESUR (en 132 kV).

### 4. Postes de madera.

Sólo son usados por EDELNOR en líneas rurales de 60 kV.

En cuanto a la **función** cumplida dentro de la línea debido a su ángulo de desviación ( $\alpha$ ), las estructuras deberían clasificarse de la siguiente forma:

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| ➤ Suspensión          | $\alpha$ entre 0 y 3° ó 5° |
| ➤ Suspensión/Anclaje  | $\alpha$ entre 0 y 15°     |
| ➤ Anclaje (Retención) | $\alpha$ entre 0 y 30°     |
| ➤ Anclaje (Retención) | $\alpha$ entre 0 y 60°     |
| ➤ Terminal / Remate   | $\alpha$ entre 0 y 90°     |

### Nota:

Las Empresas deberán enviar los antecedentes de los diferentes tipos de estructuras utilizadas en sus últimos diseños.

La información debe incluir:

- Estructuras de suspensión, anclaje (retención), terminal (remate)
- Hipótesis de carga del conductor
- Hipótesis de carga de las estructuras
- Factores de seguridad aplicados
- Siluetas de las estructuras con distancias relevantes y árboles de carga para condiciones normales y de emergencia (o anormales)

Con la información reunida, se procederá a estudiar las similitudes y diferencias, para proponer los grados de estandarización que se estimen convenientes.



## 11. HERRAJES

En la Especificación Corporativa E – LT – 005 “Herrajes para Líneas Aéreas de Alta Tensión”, los herrajes se han normalizado desde el punto de vista de sus principales características constructivas, de las normas aplicables y las pruebas exigidas para su aceptación.

Los tipos de herrajes usados están condicionados principalmente al tipo de conductor y a la función que cumplen.

Considerando los aspectos de conductores, estructuras y tipo de aislación definidos o por definir para los diversos tipos de líneas aéreas, deberá revisarse el tipo de herraje.

Los aspectos adicionales a aplicar tienen relación con:

la necesidad de garantizar una adecuada calidad,

y la definición de tipos de herrajes que permitan realizar trabajos con líneas energizadas, facilitando su manipulación.

## 12. CONDICIONES GENERALES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

Para unificar en lo posible la forma constructiva de las instalaciones en los diferentes niveles de tensión, se han definido los siguientes criterios funcionales de diseño:

### Niveles de tensión

220-230 kV

110 – 115 – 132- 138 kV

60 – 69kV

### Tipo de la línea

Rural - Urbana

### Tipo de configuración

Simple o doble circuito

### Cantidad de conductores por fase

Uno, dos o más conductores por fase

### Capacidad de operación

Capacidad de la línea en condiciones normales

Capacidad de la línea en condiciones de emergencia

### Estructuras de apoyo

Para las estructuras de apoyo de las líneas, se proponen las siguientes variantes:

- Estructuras de celosía, tipo ancha, para 2 circuitos
- Estructuras de celosía, tipo angosta, para 2 circuitos
- Postes metálicos para 2 circuitos
- Postes de hormigón para 2 circuitos



- Postes de madera para 1 circuito

### **Resistencia de puesta a tierra**

El valor máximo de la resistencia de puesta a tierra en las estructuras de AT es de 20 Ohm, sin considerar el cable de guarda. También se podrán definir valores máximos menores, de acuerdo a las condiciones particulares de cada Empresa..

*EDESUR solicita 5 ohm (valor fácil de alcanzar en sus terrenos).*

### **Facilidad de mantenimiento**

Se debe considerar la posibilidad de hacer reparaciones con líneas vivas.

### **Crucetas**

Se requieren antecedentes de las Filiales para definir:

### **Fundaciones o cimentaciones**

Se requieren antecedentes de las Filiales para definir.

*EDESUR utiliza fundación de hormigón, calculada por el método de Sulzberger, o fundación con pilotes, según los resultados del estudio de suelos.*

### **Aisladores Post Line**

Se requieren antecedentes de las Filiales para definir



## **ANEXO 1. EDELNOR: CRITERIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA**

### **1. HIPÓTESIS PARA EL CÁLCULO MECÁNICO**

<i>1ª Hipótesis:</i>	<i>EDS (Tensión de cada día)</i>	
	<i>Temperatura</i>	<i>20°C</i>
	<i>Velocidad del viento</i>	<i>nulo</i>
<i>2ª Hipótesis:</i>	<i>Máximo esfuerzo</i>	
	<i>Temperatura</i>	<i>5°C</i>
	<i>Velocidad del viento</i>	<i>75 km/h</i>
<i>3ª Hipótesis:</i>	<i>Flecha máxima</i>	
	<i>Temperatura</i>	<i>60°C</i>
	<i>Velocidad del viento</i>	<i>nula</i>
<i>4ª Hipótesis:</i>	<i>Oscilación de la cadena</i>	
	<i>Temperatura</i>	<i>20°C</i>
	<i>Velocidad del viento</i>	<i>37,5 km/h</i>
<i>5ª Hipótesis:</i>	<i>Temperatura mínima</i>	
	<i>Temperatura</i>	<i>5°C</i>
	<i>Velocidad del viento</i>	<i>nula</i>

### **2. FACTORES DE SEGURIDAD**

*Los factores de seguridad empleados en el diseño son las siguientes:*

<i>2.1</i>	<i>Estructura de madera</i>	
	<i>Hipótesis normal</i>	<i>3</i>
	<i>Hipótesis excepcional</i>	<i>2</i>
<i>2.2</i>	<i>Estructuras Metálicas</i>	
	<i>Hipótesis normal</i>	<i>2,5</i>
	<i>Hipótesis excepcional</i>	<i>1,5</i>



### 2.3 Aisladores

*Hipótesis normal* 3

*Hipótesis excepcional* 2

### 2.4 Accesorios

*Hipótesis normal* 3

*Hipótesis excepcional* 2

### 2.5 Retenidas

*Hipótesis normal* 3

### 2.6 Cimentaciones

*Estabilidad de la fundación al volteo o arranque*

*Hipótesis normal* 2,5

*Hipótesis excepcional* 1,3

### 2.7 Cálculo del creep

*El cálculo considera un tiempo total de 20 años (175 320 horas).*

*La interpretación de las condiciones de las hipótesis mencionadas son las siguientes.*

#### **Hipótesis normal**

- *Cuando todos los elementos se encuentran íntegros y trabajan en condiciones nominales.*

#### **Hipótesis excepcional**

- *Cuando se considera la rotura de un conductor a mínima temperatura sin viento.*



## ANEXO 2. CERJ:- ESTRUCTURAS - DIAGRAMAS DE ESFUERZOS



















