

## **Estudio de Costo de Obras de Distribución con Líneas Aéreas Protegidas en Relación con los Esfuerzos Mecánicos**

**Ulises Manuel Leonido González Galeano, Nery Enrique Chaparro Arza, Gabriel Baum**

**Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

En el Paraguay, la Administración Nacional de Electricidad es la encargada de desarrollar las normativas y los reglamentos destinados a la expansión del sistema eléctrico. En el sistema de distribución, existe una guía específica destinada a la expansión de las líneas protegidas. En dicha guía, se presentan los criterios de selección de postes considerando diferentes configuraciones de las líneas de distribución. En la actualidad, las líneas protegidas necesitan expandirse considerando configuraciones que no se habían tenido en cuenta en las guías actuales. Además, es necesario analizar la guía actual con el fin de verificar si podría seguir cumpliendo con los esfuerzos mecánicos actuales. Es por ello, que nace la necesidad de estudiar las configuraciones de las líneas de distribución con el fin de evaluar las exigencias técnicas y su impacto en el costo. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar los costos de obras de distribución con líneas aéreas protegidas considerando la selección de postes de hormigón armado vibrado según las guías existentes y una propuesta de actualización. El estudio presenta consideraciones normativas adicionales a ser incluidas dentro de las guías actuales. La nueva propuesta fue aplicada a un caso práctico en el campus de la Universidad Nacional de Asunción, en donde se evaluaron dos tramos de líneas aéreas protegidas.

### **PALABRAS CLAVE**

Especificaciones técnicas; Evaluación Económica; Expansión de líneas de distribución; Postes de hormigón armado.

---

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

## 1. CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

### 1.1 Introducción

La Distribución de la Energía Eléctrica consiste en el suministro de la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución hasta los consumidores finales a través de líneas eléctricas.

La mayoría de las líneas eléctricas de media tensión que se tienen en el sistema de distribución en Paraguay administrado por la ANDE son líneas aéreas correspondientes a conductores desnudos y protegidos. Estas líneas aéreas están compuestas por conductores fijados a los postes por medio de estructuras. Los postes deben soportar las sollicitaciones de esfuerzo mecánico para que no sufran inclinación, fisura ni fractura.

Es fundamental que los postes resistan ante los esfuerzos mecánicos para seguridad y confiabilidad del servicio. Los postes pueden ser de acero u hormigón armado y se seleccionan según su sollicitación en la línea, siendo muy variadas las condiciones que se presentan.

Existen guías [1] que proponen el poste según cierto tipo de configuración, pero desafortunadamente se tienen combinaciones que se presentan en la práctica y no se contemplan explícitamente en dichas guías.

Al no contemplarse ciertas configuraciones en las guías y con el afán de minimizar costos, por un lado, se tendría el siguiente escenario: Se podría diseñar trazados de líneas de distribución que inicialmente tengan un costo menor, pero que en determinado momento requerirían de mantenimiento, o que en condiciones desfavorables necesiten la sustitución de postes por otros de mayor prestación, incurriendo en mayores costos además de posibles cortes en el suministro de la energía eléctrica. Por lo tanto, a mediano o largo plazo los costos serían mayores. Por otro lado, se tendría el escenario opuesto: Se podría diseñar trazados de líneas de distribución sobredimensionadas, incurriendo en mayores costos debido a la selección de los postes, que permitiría a los mismos soportar incluso condiciones excepcionales. Es por ello, que se necesita expandir el estudio y análisis a las demás combinaciones de estructuras, que cada día, son más comunes en nuestro sistema de distribución.

### 1.2 Objetivo General

Evaluar los costos de obras de distribución de líneas aéreas protegidas de la ANDE considerando una actualización de las guías existentes para selección de postes.

### 1.3 Objetivos Específicos

- Analizar los esfuerzos mecánicos en postes de líneas aéreas protegidas de la ANDE.
- Proponer una actualización de las guías de selección de postes para obras de líneas aéreas protegidas de la ANDE.
- Comparar costos de obras de distribución de líneas aéreas protegidas obtenidas con la selección de postes utilizando las guías existentes y la selección de postes considerando la actualización de estas.

## 2. CAPÍTULO 2: DEFINICIONES

### 2.1 Líneas aéreas protegidas

También llamadas redes de distribución aéreas compactas, son tendidos de energía eléctrica que utilizan cables unipolares protegidos, los cuales están sujetos y separados por espaciadores romboidales que a su vez están sustentados por un cabo de acero portante galvanizado de alta resistencia (cabo mensajero) [2].

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

## 2.2 Postaciones de la ANDE: Guía de selección

Las postaciones a ser proyectadas para su erección podrán ser de hormigón armado de 12 metros, 300, 500 y 800 daN, o de acero normal o reforzado para media tensión. En casos especiales se utilizarán postes de hormigón armado de 15 metros de 500 daN, y 15 metros de 800 daN. La **tabla 2.1** es utilizada por la ANDE para la selección de postes según la configuración a la que están sometidos los conductores.

**Tabla 2.1:** Selección de postes de la ANDE [1].

Tipo de conductor	Tipo de red	Ángulo			
		0°-5°	6°-29°	30°-59°	60°-90°
Protegido	MT	12/300	12/500	12/800	12/800

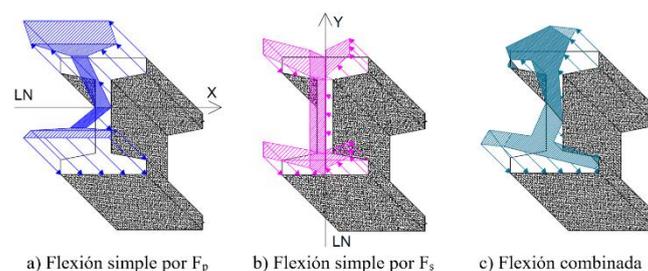
La ANDE establece que para líneas protegidas de 185 mm<sup>2</sup> se utilizarán vanos reguladores máximos de hasta 35 metros en alineación y en casos excepcionales deberá verificar y aprobar la utilización con vanos reguladores de hasta 40 metros. Además, establece que se debe utilizar postes de 12/800 en todos los cortes, finales de línea, quiebres y retenciones [1].

## 2.3 Postes de hormigón armado

Los postes de hormigón armado serán proyectados de acuerdo con los requerimientos de la longitud del vano y de la resistencia mecánica al que estarán sometidos; esto conforme a la configuración del terreno y teniendo en cuenta que los esfuerzos de la tracción de los conductores en las estructuras se trasladan al poste [1]. El poste de hormigón armado utilizado por la ANDE se fabrica utilizando hormigón armado vibrado y es de sección doble T hasta una cierta altura y de sección llena rectangular hasta la cima [3].

## 2.4 Esfuerzo normal por flexión

La aplicación de una fuerza en dirección transversal al eje del poste produce esfuerzos normales de flexión en las secciones de este. En la **figura 2.1a** se muestra la sección a la altura del empotramiento sometida a esfuerzos normales de flexión por acción de una fuerza en la dirección principal  $F_p$  (dirección de carga útil, eje y) y en la **figura 2.1b** se muestra la misma sección sometida a esfuerzos de flexión por acción de una fuerza en la dirección secundaria  $F_s$  (dirección perpendicular a la dirección de carga útil, eje x). En el caso general de flexión combinada correspondiente a la resultante de las fuerzas transversales y longitudinales aplicadas simultáneamente, la sección del empotramiento estará sometida a esfuerzos normales como se ilustra en la **figura 2.1c**.



**Figura 2.1:** Esfuerzos normales.

---

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

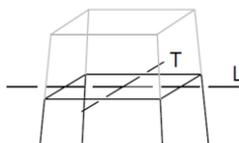
## 2.5 Vano, Cantón y Vano ideal de regulación

Se denomina vano al tramo de línea comprendido entre dos apoyos consecutivos. Los tramos comprendidos entre dos apoyos de anclaje definen un tramo de línea o cantón. En caso de vanos diferentes en un cantón, puede suponerse que la tensión en todos ellos varía por igual en la misma forma en que lo haría en un vano ficticio denominado vano ideal de regulación (V.I.R.), o simplemente vano de regulación  $a_r$  [4].

## 3. CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO

### 3.1 Proceso de cálculo mecánico de un apoyo

El cálculo mecánico de postes dependerá de la función que cumplen estos en la línea (alineación, de ángulo, anclaje y fin de línea). Las fuerzas se referirán a un par de ejes (transversal y longitudinal) en el plano situado a 25 centímetros por debajo de la cima, tal como se indica en la **figura 3.1**.



**Figura 3.1:** Ejes transversal y longitudinal.

### 3.2 Normativas

Las normativas a las que se hizo referencia en este estudio son las siguientes:

1. Reglamento para instalaciones eléctricas de media tensión – ANDE.
2. Especificaciones técnicas – ANDE.
3. Norma Paraguaya N°150: Postes de hormigón armado para soporte de instalaciones aéreas – INTN.

### 3.3 Condición de diseño

#### 3.3.1 Hipótesis

La condición de diseño corresponde a una temperatura mínima de  $10^{\circ}\text{C}$  y una velocidad del viento de  $130\text{ km/h}$  para el cálculo de la presión del viento. Además, es posible considerar el efecto del viento (presión) con otras velocidades. Esto permitirá evaluar el efecto del viento por zonas atiendo a datos estadísticos de velocidad del viento. Las hipótesis de carga serán las que se indican en la **tabla 3.1**, según el tipo de apoyo, a la temperatura mínima.

En este estudio se consideró únicamente la tracción del cabo mensajero o portante de líneas aéreas protegidas por ser ésta mucho mayor que la tracción de los cables de fase. La fuerza se aplica en dirección perpendicular al eje vertical del apoyo a la altura de fijación, la cual es a la altura útil. Además, no se consideró la rotura de los cables de fase debido a que los valores de las tracciones sobre los mismos son muy bajos. Tampoco se consideró la rotura del cabo mensajero, pues el coeficiente de seguridad que se adoptó permite prescindir de dicha hipótesis, siendo la tracción máxima del conductor menor que el 33% de la carga de rotura. Como las cargas consideradas están aplicadas en el eje del apoyo no se tendrán momentos de torsión.

Se verificó el apoyo únicamente a flexión, siendo éste suficientemente resistente a cargas verticales. Además, no se consideró el esfuerzo de corte por ser mucho menor al esfuerzo normal producido por flexión.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

3.4 Verificación del poste por esfuerzo normal de flexión

El poste de hormigón armado de sección doble T no es isorresistente, por lo que realizar una comparación entre la magnitud de la fuerza resultante, que forma un ángulo  $\varphi$  con la dirección de carga útil, y el valor de carga nominal  $F_n$  del poste, no es posible directamente. Se debe considerar un coeficiente  $k_{(\varphi)}$ , que depende del ángulo  $\varphi$  y el tipo de poste, que reduce el valor nominal de la capacidad resistente del poste. Esto se expresa mediante la **ecuación 3.1**.

$$F_{\varphi} = k_{(\varphi)} F_n \quad (3.1)$$

**Tabla 3.1:** Hipótesis para el cálculo mecánico de apoyos [5].

Hipótesis para el cálculo de apoyos			
	Condiciones Normales	Condiciones Anormales	
<b>Alineación, Ángulo y Anclaje</b>	<b>Hipótesis de viento</b>	<b>Hipótesis de desequilibrio de tracciones</b>	<b>Hipótesis de rotura de conductores</b>
	1- Carga permanente	1- Carga permanente	1- Carga permanente
	2- Presión de viento	3- Desequilibrio de tracciones	2- Rotura de conductores
<b>Fin de línea</b>	<b>Hipótesis de viento y desequilibrio de tracciones</b>	<b>Hipótesis de rotura de conductores</b>	
	1- Carga permanente	1- Carga permanente	
	2- Presión de viento	2- Rotura de conductores	
	3- Desequilibrio de tracciones		

3.5 Estimación de costo de obras

Mediante las **ecuaciones 3.2** al **3.4** es posible estimar el costo total de una obra de distribución con líneas aéreas protegidas. Los precios unitarios de referencia fueron obtenidos en el portal de la DNCP.

$$CM = \sum \text{precio unitario} \times \text{cantidad} \quad (3.2)$$

CM: Costo de materiales (Gs.).

Para obtener el costo de la mano de obra es necesario multiplicar cada tiempo padrón (HHP) por la cantidad  $n$  de veces que será ejecutado un trabajo y realizar la sumatoria de los tiempos padrones parciales para finalmente multiplicar dicha sumatoria por el precio unitario.

$$CMO = \text{precio unitario} \times \sum n_i \times HHP_i \quad (3.3)$$

CMO: Costo de mano de obras (Gs.).

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

Los tiempos padrones y el precio unitario para mano de obra fueron obtenidos del Anexo M del pliego de bases y condiciones de la licitación pública nacional N°1534 (LPN 1534/2019). El precio unitario para mano de obra utilizado es el de Gs. 650.000 y corresponde a la zona de San Lorenzo [6].

$$CO = CM + CMO \tag{3.4}$$

CO: Costo total de la obra (Gs.).

### 3.6 Caso de estudio

El caso de estudio se constituye en dos tramos de líneas protegidas existentes con conductores de 185 mm<sup>2</sup>. El primer tramo consiste en una línea de simple terna de aproximadamente 420 metros lineales y el segundo tramo consiste en una línea mayormente de doble terna de aproximadamente 735 metros lineales.

## 4. CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se utiliza la razón entre la carga mecánica resultante  $F_R$  a la que está sometido el poste según su función en la línea, en determinada situación, y la carga  $F_\phi$ , para describir el estado del poste ante la carga mecánica.

### 4.1 Resultado general

La **tabla 4.1** muestra el formato condicional para los resultados según el valor de la razón  $F_R/F_\phi$ . Es posible realizar la división del país en zonas según velocidades del viento máximas. Además, se debe tener en cuenta factores que reducen el efecto del viento sobre los apoyos, pudiéndose categorizar dichas zonas como urbana, semiurbana y rural. Estas zonas son definidas en este estudio como zona A, zona B y zona C, según velocidades del viento de diseño de 130 km/h, 100 km/h y 70 km/h respectivamente.

**Tabla 4.1:** Formato condicional para cada celda de las tablas según el valor de  $F_R/F_\phi$ .

$F_R/F_\phi \leq 1$	Condición normal
$1 < F_R/F_\phi \leq 1,65$	Sobre esfuerzo, pero sin daño
$1,65 < F_R/F_\phi \leq 2,4$	Sin daños, pero con posibilidad de inclinación
$F_R/F_\phi > 2,4$	Alta probabilidad de rotura

Se proponen las **tablas 4.2** al **4.7** como actualización de las guías existentes para la selección de postes. Para vanos reguladores de 40 metros es válida la selección de postes conforme la **tabla 4.2** sustituyendo el límite de 35° por 30°.

#### 4.1.1 Selección de postes para apoyos de alineación y ángulo

**Tabla 4.2:** Postes para apoyos de alineación y ángulo en zona A. Vano regulador de 35 metros.

Ángulos (°sexag.)		0° - 5°	6° - 10°	11° - 15°	16° - 35°
Línea aérea protegida (MT)	Simple terna	12-300	12-500	12-500	12-800
		15-500	15-500	15-500	15-800
	Doble terna	12-800	12-800	-	-
		15-800	15-800	-	-

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

Para vanos reguladores de 40 metros es válida la selección de postes conforme la **tabla 4.3** utilizando postes de 800 daN a partir de una deflexión angular de 21°.

**Tabla 4.3:** Selección de postes para apoyos de alineación y ángulo en zona B. Vano regulador de 35 metros.

Ángulos (°sexag.)		0° - 5°	6° - 10°	11° - 20°	21° - 25°	26° - 40°
Línea aérea protegida (MT)	Simple terna	12-200	12-300	12-500	12-500	12-800
		15-500	15-500	15-500	15-500	15-800
	Doble terna	12-500	12-500	12-800	-	-
		15-500	15-500	15-800	-	-

Para vanos reguladores de 40 metros es válida la selección de postes conforme la **tabla 4.4** utilizando postes de 12-300 daN para ángulos entre 6° y 10° y 12-500 daN para ángulos de 11° a 15° en simple terna.

**Tabla 4.4:** Selección de postes para apoyos de alineación y ángulo en zona C. Vano regulador de 35 metros.

Ángulos (°sexag.)		0° - 5°	6° - 10°	11° - 15°	16° - 20°	21° - 25°	26° - 40°
Línea aérea protegida (MT)	Simple terna	12-200	12-200	12-300	12-500	12-500	12-800
		15-500	15-500	15-500	15-500	15-500	15-800
	Doble terna	12-300	12-500	12-800	12-800	-	-
		15-500	15-500	15-800	15-800	-	-

#### 4.1.2 Selección de postes para apoyos de anclaje

##### Apoyos de doble anclaje en alineación

Para apoyos de doble anclaje sin desviaciones angulares entre las alineaciones contiguas, atendiendo restricciones sobre los vanos medios y la diferencia de los vanos reguladores a ambos lados del apoyo se sugiere la selección de postes según las **tablas 4.5** y **4.6**.

**Tabla 4.5:** Selección de postes de doble anclaje sin ángulo. Vano regulador de 30 metros.

Poste	Zona A		Zona B		Zona C	
	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)
12-500	35	0	35	0	35	0
	30	5	35	5	35	5
	25	10	35	10	35	10
15-500	25	0	35	0	35	0
	20	5	35	5	35	5
	15	10	35	10	35	10

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

**Tabla 4.6:** Selección de postes de doble anclaje sin ángulo. Vano regulador de 40 metros.

Poste	Zona A		Zona B		Zona C	
	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)
12-800	30	0	45	0	45	0
	25	5	45	5	45	5
	20	10	45	10	45	10
	15	15	45	15	45	15
	10	20	40	20	45	20
15-800	15	0	45	0	45	0
	10	5	40	5	45	5
			35	10	45	10
			30	15	45	15
			25	20	45	20

Para apoyos de doble anclaje con un ángulo entre las alineaciones contiguas de hasta 5°, se sugiere la selección de postes según la **tabla 4.7**.

**Tabla 4.7:** Selección de postes de doble anclaje con ángulo de hasta 5°. Vano regulador de 40 metros.

Poste	Zona A		Zona B		Zona C	
	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)	vano medio (m)	ar2 - ar1 (m)
12-800	15	0	45	0	45	0
	10	5	40	5	45	5
			30	10	45	10
			25	15	45	15
			15	20	45	20
15-800			25	0	45	0
			20	5	45	5
			10	10	45	10
					45	15
					45	20

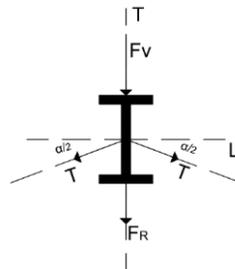
Apoyos de doble anclaje en ángulo

Los postes de hormigón armado para apoyos de este tipo son orientados dirigiendo la cara de mayor resistencia hacia la dirección de la línea con mayor tracción, ya que, no siendo el poste isorresistente, se busca que la cara más resistente soporte mayor fuerza. Sin embargo, al tener tracción a ambos lados del poste, la dirección de la fuerza resultante producida por el cambio de alineación forma un ángulo con la dirección de máxima resistencia.

Si se sigue la tabla de tendido de la ANDE para tensar el cabo mensajero a ambos lados del apoyo, la razón  $F_R/F_\phi$  es mayor que 2,4 incluso sin viento y a 25°C ya que la fuerza resultante es mayor a las tracciones individuales y su dirección no coincide con la dirección de mayor resistencia. En la práctica, entonces, el tendido es realizado con tracciones menores.

Atendiendo lo indicado anteriormente, se propone orientar el poste con la cara de mayor resistencia en la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las líneas a ambos lados del apoyo, como se indica en la **figura 4.1**. Luego, realizar el tendido con tracciones iguales o de valores muy cercanos entre sí, de modo que la fuerza resultante siga la dirección de la bisectriz. De este modo, en condiciones normales el desequilibrio de tracciones real será pequeño como para desviar en gran medida la resultante de la dirección deseada. Además, la fuerza del viento sobre el poste sería menor porque la superficie aparente expuesta es menor en la dirección transversal. Por último, el tensado debe hacerse a valores menores que los indicados en la tabla de tendido de la ANDE.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**



**Figura 4.1:** Orientación del poste propuesta para EMPTH 4.

### Apoyos de fin de línea

El análisis mecánico sobre el poste de fin de línea arroja que  $F_R/F_\phi$  toma el valor de 1,4 justo después de realizar el tendido y soporte de los cables de fase a 25°C y 0 km/h de velocidad del viento, si el tendido es realizado siguiendo la tabla de tendido de la ANDE. Además, dicha relación es mayor que 2,4 en condiciones de velocidad de viento a 130 km/h y temperatura de 10°C.

Por lo que se propone la reducción de la tensión de tendido sobre estos apoyos o en su defecto, la utilización de una rienda aérea de tal modo que el apoyo de fin de línea no se encuentre fatigado.

## 4.2 Resultados del caso de estudio

### 4.2.1 Evaluación mecánica

A continuación, se muestra una evaluación de los esfuerzos mecánicos sobre los postes de los dos tramos propuestos en el capítulo tercero a una velocidad del viento de 0 km/h para conocer cómo se encuentra el poste justo después del tendido de los cables de fase y a velocidades del viento de 70 y 100 km/h para comparar el diseño del trazado a dichas velocidades del viento con el diseño a 130 km/h.

Los apoyos de alineación fueron evaluados con un ángulo de 5° y los apoyos de ángulo fueron evaluados con un ángulo de 10°. Para un tendido de los tramos siguiendo la tabla de tendido de la ANDE el poste n°6 (anclaje en ángulo) y el poste n°39 (doble anclaje y fin de línea, doble terna) presentan valores de  $F_R/F_\phi$  por encima de 2,4 para la condición de tensión de cada día (0 km/h y 25°C). Atendiendo eso, se redujeron las tensiones a ambos lados de ambos postes de tal modo que el valor de  $F_R/F_\phi$  para cada uno sea menor que 1,65 en la condición tensión de cada día. Luego se ajustaron los valores de  $F_R/F_\phi$  para los demás postes de acuerdo con esas tensiones. El resultado se muestra en la **tabla 4.8**.

Los postes más exigidos en condición de cada día son apoyos de anclaje con ángulo y fin de línea para las líneas de simple terna. Para líneas de doble terna, son los más exigidos aquellos que cumplen más de una función como anclaje para un circuito y fin de línea para el segundo circuito, alineación para dos circuitos y una derivación, alineación para un circuito y fin de línea para el otro, entre otros. Dichos postes serán aún más exigidos en condiciones de velocidades del viento altas y temperaturas bajas.

Se deben considerar las propuestas hechas en el primer punto de este capítulo (Resultados generales) para que los postes estén seguros en condiciones extremas.

Se puede notar que los apoyos de alineación de doble terna presentan valores de  $F_R/F_\phi$  mayores que 2,4 para condición de velocidad del viento de 130 km/h y temperatura de 10°C. Los postes utilizados son de 12-300 daN y los postes sugeridos para la zona con dicha condición son de 12-500 daN.

### 4.2.2 Evaluación de costos

Los costos que se muestra en la **figura 4.2** corresponden a costos de la obra por tramos y de acuerdo con las guías de selección de los postes. Siguiendo la guía de selección de postes existente, el costo de la obra para el tramo 1 es igual que el costo para dicho tramo siguiendo la guía propuesta para la zona A ya que la selección de postes no varía. Sin embargo, de acuerdo con la guía propuesta, se orienta el apoyo de anclaje en ángulo y

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
 23 y 24 de Junio 2022

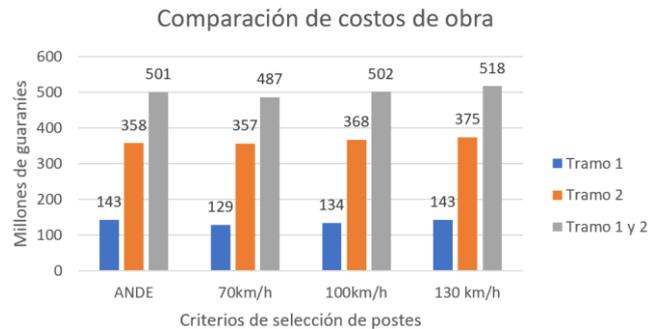
se reducen las tensiones de tendido con dichas tensiones iguales a ambos lados del apoyo. Para las zonas B y C se seleccionan postes de menor capacidad, por lo que el costo para este tramo siguiendo la guía propuesta es menor que siguiendo la guía existente.

**Tabla 4.8:** Evaluación de los esfuerzos mecánicos sobre postes del caso de estudio.

Poste N°	Postes 12m	Estado	0km/h 25°C	70km/h 10°C	100km/h 10°C	130km/h 10°C
		Función	FR/F $\phi$	FR/F $\phi$	FR/F $\phi$	FR/F $\phi$
1	800	FL	1,152	1,688	2,295	3,208
2	300	AL	0,349	0,723	1,112	1,653
3	300	AL	0,349	0,746	1,158	1,731
4	300	AL	0,349	0,749	1,166	1,745
5	300	AL	0,349	0,742	1,151	1,719
6	800	ANC	1,543	1,796	2,961	4,698
7	300	AL	0,328	0,632	0,944	1,380
8	500	ANG	0,276	0,497	0,723	1,041
9	300	AL	0,328	0,734	1,151	1,728
10	300	AL	0,328	0,706	1,095	1,634
11	300	AL	0,328	0,673	1,027	1,518
12	300	AL	0,328	0,666	1,013	1,496
13	300	AL	0,328	0,681	1,043	1,546
14	800	FL	1,410	1,905	2,444	3,208
15	200	AL	0,492	0,793	1,099	1,532
16	200	AL	0,492	0,858	1,232	1,757
17	800	FL-AL	1,420	2,200	3,013	4,480
18	800	AL-AL-FL	1,411	1,967	2,548	3,422
19	300	AL-AL	0,662	1,126	1,601	2,270
20	300	AL-AL	0,662	1,205	1,761	2,541
21	300	AL-AL	0,662	1,221	1,795	2,599
22	300	AL-AL	0,662	1,266	1,886	2,752
23	300	AL-AL	0,662	1,298	1,952	2,863
24	300	AL-AL	0,662	1,285	1,926	2,819
25	300	AL-AL	0,662	1,287	1,929	2,825
26	300	AL-AL	0,662	1,332	2,022	2,981
27	300	AL-AL	0,662	1,310	1,975	2,903
28	300	AL-AL	0,662	1,254	1,862	2,712
29	300	AL-AL	0,662	1,223	1,799	2,606
30	300	AL-AL	0,662	1,226	1,805	2,615
31	800	AL-ANG	0,496	0,762	1,033	1,419
32	300	AL-AL	0,662	1,263	1,880	2,741
33	300	AL-AL	0,662	1,252	1,857	2,703
34	300	AL-AL	0,662	1,288	1,931	2,828
35	500	AL-AL	0,397	0,792	1,198	1,763
36	300	AL-AL	0,662	1,294	1,944	2,850
37	300	AL-AL	0,662	1,243	1,840	2,674
38	800	ANC-AL	0,443	1,145	1,858	2,832
39	800	ANC-FL	1,597	2,416	3,312	4,541
40	800	FL	1,097	1,552	1,927	2,483

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022**

El costo de la obra para el tramo 2 siguiendo la guía propuesta para las zonas A y B, es mayor que siguiendo la guía existente, porque los postes seleccionados según la propuesta son de mayor capacidad para la línea de doble terna. Sin embargo, el tramo 2 tiene algunos apoyos con línea de simple terna, consiguiendo que el costo para dicho tramo según la guía propuesta para la zona C sea menor que si se sigue la guía existente.



**Figura 4.2:** Comparación gráfica de los costos totales de la obra según guías de selección de postes.

## 5. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En este trabajo se evaluaron los costos de una obra de distribución de líneas aéreas protegidas a partir de la selección de postes para dicha obra según guías de selección existente y propuesta.

Se analizaron los esfuerzos mecánicos sobre los postes bajo la acción de determinadas fuerzas. Para cumplir dicho objetivo se desarrolló un estudio sobre la reducción de la capacidad resistente de los postes cuando sobre los mismos actúa una resultante de fuerzas, en el plano horizontal, a una dirección distinta de la dirección de carga útil.

Se estableció una guía para la selección de postes, según el tipo de apoyo, en función de vanos reguladores, vanos medios y desviaciones angulares que presentan las líneas.

Finalmente, se realizó una comparación de costos del caso de estudio para la línea existente respecto a alternativas propuestas, indicando un aumento o disminución de los costos según sean las condiciones de diseños consideradas.

La comparación de costos entre el caso de estudio considerado y la propuesta revela que es posible realizar una inversión 3,61% mayor para garantizar que las fuerzas sobre los postes provoquen un esfuerzo normal de flexión menor o igual al correspondiente a la carga nominal en condiciones de temperatura de 25°C y sin viento; y un esfuerzo normal de flexión menor o igual al correspondiente a la carga máxima admisible en condiciones de viento a velocidad de 130 km/h y temperatura de 10°C.

### 5.2 Recomendaciones

1. Estudiar los fenómenos vibratorios en líneas aéreas protegidas para la correcta selección de criterios para el cálculo de tensiones de diseño.
2. Estudiar el comportamiento del poste ante cargas combinadas en dos o más direcciones en el plano horizontal mediante ensayos para la obtención de los coeficientes de reducción de la carga nominal propuestos.
3. Estudiar el uso de postes isorresistentes circulares para apoyos angulares con gran desviación, finales de líneas, derivaciones y apoyos angulares de doble anclaje.
4. Proponer este estudio agregando líneas de baja tensión con conductores preensamblados.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] EE.TT. N° 01-03-13 Procedimientos para la elaboración de proyectos de líneas de distribución de media y baja tensión - Rev. 1. ANDE, Paraguay, 2016, páginas 1-21.
- [2] EE.TT. N° 18.01.06 Líneas Aéreas Protegidas - Rev. 1. ANDE, Paraguay, 2007, páginas 1-92.
- [3] Norma Paraguaya NP N°150: Postes de hormigón armado para soportes de instalaciones aéreas. INTN, Paraguay, 1977, páginas 1-14.
- [4] F. B. Camarero, *Líneas aéreas de media y baja tensión* - Cálculo Mecánico, Madrid: Paraninfo, 1999, páginas 1-50.
- [5] Reglamento para instalaciones eléctricas de media tensión. ANDE, Paraguay, 1975, páginas 1-56 y Anexos.
- [6] Licitación 368018 - Lp1534-19: Ejecución de Obras de Adecuación y Ampliación del Sistema Eléctrico de Distribución en Asunción, bajo la Modalidad de Contrato Abierto. DNCP, 7 Marzo 2021, <https://www.contrataciones.gov.py/licitaciones/convocatoria/368018-lp1534-19-ejecucion-obras-adequacion-ampliacion-sistema-electrico-distribucion-asunc-1.html#documentos>.