

## **CIRCUNFERENCIAS MÍNIMAS DE POSTES DE MADERA PARA LINEAS AEREAS DE CONDUCCION DE ENERGIA**

Jorge Bueno Zarate <sup>1</sup>

### **RESUMEN**

Se expone el método de cálculo de circunferencias mínimas de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía y el Cuadro de dimensiones de dichos postes elaborado teniendo en cuenta el gran número de especies de madera que el Perú posee y la alta variabilidad de sus propiedades físico-mecánicas, aplicando el concepto de "grupo" o "heterogeneidad homogeneizada". Dicho Cuadro fue aprobado sin observaciones por el ITI NTEC hace siete años y hasta el presente no ha recibido ninguna objeción; forma parte de la recomendación para normalizar las especificaciones generales de postes de madera preparada por el autor, la que con ligeras modificaciones constituye la Norma Técnica Nacional ITINTEC 251.022 Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Requisitos Generales, vigente.

### **SUMMARY**

This paper exposes a method of calculating the minimum circumferences of wood poles for the aerial conduction of energy and also includes a Table of dimensions of these poles. This Table is based on the "grup" or "homogenized hetegenity" concept, because Perú possesses a great number of timber species with highly variable physical and mechanical properties. This Table has been approved with hot observations by ITINTEC seven years ago and has not received any objections up to now. It forms part of the recommendation prepared by the author to standardize the general specifications of the wood poles that constitutes, with minor differences, the ITINTEC National Technical Standard 251.022 of Round Wood Poles for the Aerial Conduction of Energy: General Requisites, in force.

### **INTRODUCCION**

La producción nacional de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía era hasta hace pocos años inexistente, no obstante la gran disponibilidad de maderas aptas para ellas en los bosques del país, debido fundamentalmente a la falta de normas que garantizaran su calidad y dieran seguridad al usuario. Las necesidades eran satisfechas mediante importaciones.

Considerando que la producción de dichos postes en el país lo independizaría del suministro externo y promovería una mejor utilización de los bosques peruanos, se firmó un convenio entre la Universidad Nacional Agraria (UNA), el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), para investigar y normalizar postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía.

La UNA, mediante su Departamento Académico de Industrias Forestales, realizó la investigación pertinente y preparó recomendaciones para normalizar los postes, el MEM proporcionó los requisitos de uso de los postes y financió los estudios y el ITINTEC efectuó las normas en base a las recomendaciones preparadas por la UNA.

Las recomendaciones para normalizar postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía proporcionadas por la UNA, fueron elaboradas por el autor del presente trabajo. Dichas recomendaciones fueron: Glosario de Postes de Madera, Especificaciones Generales de Postes,

---

<sup>1</sup> Profesor Principal. Departamento Académico de Industrias Forestales Universidad Nacional Agraria, La Molina.

Ensayo de Postes de Madera, Postes de Eucalipto y Postes de Seis Especies de Montaña (2). Las tres primeras fueron aprobadas por el ITINTEC, con ligeras variantes, y son hoy Normas Técnicas Nacionales bajo la denominación genérica de Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía y específica Glosario (ITINTEC 251.021), Requisitos Generales (ITINTEC 251.022) y Ensayo de Postes (ITINTEC 251.023) respectivamente; la cuarta fue base para la ITINTEC 251.024, Postes de eucalipto y la quinta para el esquema de Norma ITINTEC, Especies Forestales de Montaña útiles para Postes (7,13).

En el presente artículo se expone el trabajo realizado para establecer la circunferencia mínima de postes de maderas nacionales para líneas aéreas de conducción de energía, que es parte medular de la Recondensación Especificaciones Generales de Postes y por tanto de la Norma Nacional ITINTEC 251.022.

## REVISION DE LITERATURA

Al realizarse el trabajo no existía prácticamente ninguna información nacional sobre circunferencias de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía salvo una limitada y preliminar inédita del autor, carencia extensiva a los otros aspectos contemplados en las recomendaciones para normalizar dichos postes.

Se estima que los bosques del Perú se componen a nivel nacional de más de 2,500 especies forestales diferentes (1). Entre las normas revisadas de otros países sobre dimensiones de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía, sólo se encontró la IS: 876 de la India (6) que considera la gran variabilidad de las propiedades y características de las maderas tropicales por el gran número de especies forestales que las producen como en el caso del país.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en el Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los postes están sometidos a cargas cuando están en servicio, las que dependen fundamentalmente de las líneas y del viento que deben soportar. El MEM proporcionó las cargas de rotura (2) que deben caracterizar los postes para líneas aéreas de conducción de energía; estas cargas diferencian los postes en clases como un conjunto de postes de longitud variable que, independientemente de la especie de madera, se caracterizan por una misma carga de rotura (8).

Clase	Carga de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2040
2	1630
3	1360
4	1090
5	860
6	630
7	550
8	450
9	340
10	170

Asimismo el MEM estableció que los postes normalizados tendrían longitudes de 6 a 21 metros con intervalos de 1 metro.

Dada la gran variedad de maderas existentes en los bosques del país, el cálculo de las circunferencias mínimas en la línea de tierra de los postes (8) para soportar las cargas de rotura antes indicadas se realizó aplicando el concepto de "grupo" (2) es decir de "heterogeneidad homogenizada" que es el más funcional para la utilización del mayor número posible de especies en las diversas aplicaciones de la madera y por lo tanto en postes.

El "grupo" en este caso tiene el significado de un conjunto de especies de maderas aptas para postes de líneas aéreas de conducción de energía caracterizadas por un rango de esfuerzo máximo a la flexión (8), correspondiente a madera de un contenido de humedad por encima del punto de saturación de la fibra (aproximadamente 30%); por debajo la resistencia de la madera aumenta a medida que disminuye su humedad, pudiendo duplicarse al alcanzar un 12%, que es el nivel a que se realizan los ensayos en seco. Se establecieron los cinco grupos siguientes:



<b>Grupo</b>	<b>Esfuerzo Máximo a la Flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
A	Más de 800
B	800 a 700
C	700 a 600
D	600 a 500
E	400 a 300

Las circunferencias mínimas en la cabeza (8) y en la línea de tierra según las clases de los postes, son iguales para todas las especies que integran un grupo. Para el cálculo se tomó el límite inferior del rango de esfuerzo máximo a la flexión que caracteriza cada grupo.

Los postes trabajan como vigas empotradas en un solo extremo y sometidos a flexión estática. La condición de cálculo de sus circunferencias mínimas es que el momento flexor (Mf) que deben soportar sea igual al momento resistente (Mr) de su sección:

$$M_f = M_r \text{ (a)}$$

El momento flexor resulta de la carga de rotura (Qr), que es constante para cada clase de postes por la longitud activa (La) (8)

$$M_f = Q_r L_a \text{ (b)}$$

El momento resistente es resultante del módulo de sección (s) por el esfuerzo máximo a la flexión (Fm) de las especies de madera.

$$M_r = s F_m \text{ (c)}$$

El módulo de la sección circular (s) es I/R, siendo I su momento de inercia y R el radio o distancia de la fibra más alejada al eje neutro; I es para este caso  $\pi R^4/4$ , de donde

Como la circunferencia (C) es la utilizada en la normalización de postes y no el radio, haciendo el reemplazo correspondiente resulta:

$$M_r = \frac{\pi R^3}{4} F_m \text{ (d)}$$

$$Mr = \frac{C^3}{32\pi^2} Fm \quad (e)$$

**DISCUSION**

La estructuración del Cuadro No. 1 sobre dimensiones de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía, que considera circunferencias mínimas no sólo según clases por carga de rotura y largo sino también por grupos que tienen en cuenta, la variabilidad en las maderas nacionales del esfuerzo en el esfuerzo máximo a la flexión permite en forma inmediata hallar las circunferencias mínimas según los largos de postes cuando se dispone de la información sobre el esfuerzo máximo a la flexión de ellas determinado sobre probetas o postes con humedad por encima del punto de saturación de la fibra.

Luego de siete años transcurridos desde la aprobación de dicho Cuadro sin ninguna modificación, por el ITINTEC, así como con ligeras variantes de toda la recomendación sobre especificaciones-generales de postes de la que forma parte, hoy Norma ITINTEC 251. 022, no se ha producido ninguna observación sobre él cumpliendo así el objetivo para el cual fue concebido y realizado.

Por otra parte, en la eventualidad de tener que usar maderas con esfuerzo máximo a la flexión menor al límite inferior del grupo E o muy superior a dicho límite del grupo A, pueden calcularse las circunferencias mínimas siguiendo el método expuesto; igualmente si por alguna razón en casos especiales fuera necesario aplicar valores intermedios entre los límites de grupo.

El valor de esfuerzo máximo a la flexión a aplicar en todos los casos, tanto para ubicar las especies en los grupos como para cálculos de casos especiales, es el mínimo encontrado en los ensayos realizados en condiciones normalizadas con madera cuya humedad sea superior al punto de saturación de la fibra. Esta doble condición constituye un importante factor de seguridad.

De donde teniendo en cuenta (a):  $C = \left[ \frac{32\pi^2}{Fm} Mf \right]^{1/3} \quad (f)$

Si Mf se encuentra expresada en kilográmetros, debe transformarse a kilogramos centímetro, por ser ésta la magnitud a aplicar.

La fracción  $(3200 \pi^2 / Fm)^{1/3}$  es constante para todas las clases y largos de un mismo grupo; Mf varía según las clases y largos pero es constante para los grupos, por lo que la fórmula (f) puede expresar como:

$$C = K (Mf)^{1/3} \quad (g)$$

Los valores de K aplicados en el cálculo de las circunferencias mínimas han sido los siguientes:

Grupo	Valor de K
A	3.41
B	3.55
C	3.74
D	3.93
E	4.29

**RESULTADOS**

Los resultados del cálculo de circunferencias mínimas de postes de madera para líneas aéreas de conducción de energía de especies nacionales se encuentra en el Cuadro 1. Los valores de largo de empotramiento que también figuran en él han sido determinados conforme a lo pertinente de la Recomendación Especificaciones de Postes (2), hoy norma ITINTEC 251.022 (9).

## CONCLUSIONES

1. La aplicación del concepto de "grupo" u "heterogeneidad homogeneizada" para calcular las circunferencias mínimas de postes de maderas nacionales para líneas aéreas de conducción de energía es funcional y facilita la utilización de especies del país para su producción contribuyendo a la utilización integral de los bosques heterogéneos del Perú.
2. El Cuadro 1 fue aprobado sin observaciones por el ITINTEC hace siete años y hasta el presente no ha recibido ninguna observación. Dicho Cuadro forma parte de la recomendación para normalizar especificaciones generales de postes de madera preparada por el autor, la que con ligeras variantes constituye la Norma Técnica Nacional ITINTEC 251.022.
3. Para ubicar las especies de madera en los grupos de postes o para efectuar cálculos de circunferencias mínimas en casos especiales, debe aplicarse siempre el valor mínimo del esfuerzo máximo a la flexión obtenido en condiciones normalizadas sobre muestras con humedad por encima del punto de saturación de la fibra.

## RECOMENDACION

Para facilitar y promover la utilización integral de los bosques peruanos debe aplicarse el concepto de "grupo" en las diversas aplicaciones de la madera.

CUADRO No. 1 DIMENSIONES DE POSTES

CLASE		1					2					3					4					5					6					7					8					9					10				
GRUPO		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Circunferencia mínima en la cabeza (cm)		56	58	61	64	68	53	55	57	60	63	50	52	54	56	60	45	47	49	51	54	41	43	45	47	50	34	36	38	40	43	32	34	36	38	40	29	31	34	36	38	26	28	30	33	36	22	24	26	28	30
Largo (m)	Largo de empalmamiento (m)	CIRCUNFERENCIA MÍNIMA EN LA LÍNEA DE TIERRA (cm)																																																	
		6	1.20	71	74	78	83	90	67	70	73	78	84	62	65	68	73	79	58	60	64	68	73	54	56	59	62	67	50	52	54	58	62	46	48	51	54	58	43	45	47	50	54	39	41	43	46	49	31	32	34
7	1.30	76	79	83	89	95	71	74	78	83	89	66	69	73	77	83	62	64	68	72	77	57	59	62	66	72	53	55	58	61	66	49	51	54	57	62	46	48	50	54	58	42	43	46	49	53	33	35	36	39	42
8	1.40	80	83	88	93	100	75	78	82	87	94	70	76	77	81	88	65	67	71	76	83	60	62	66	70	75	55	58	61	65	70	52	54	57	60	65	48	50	53	56	61	44	46	48	51	55					
9	1.50	84	87	92	98	105	78	82	86	91	98	73	76	80	85	92	68	71	74	79	85	63	65	69	73	79	58	60	64	68	73	54	56	59	63	68	50	53	55	59	63	46	48	50	54	58					
10	1.60	87	90	95	101	109	81	85	89	95	102	76	79	83	89	95	71	73	77	82	89	65	68	71	76	82	60	63	66	70	76	56	58	62	65	71	53	55	58	61	66										
11	1.70	90	94	99	105	113	84	88	92	98	106	79	82	86	92	99	73	76	80	85	92	68	70	74	79	85	62	65	68	73	79	58	60	64	68	73	54	57	60	63	68										
12	1.80	93	97	102	105	117	87	91	95	102	110	81	84	89	95	102	75	78	83	88	95	70	72	76	81	88	64	67	71	75	81	60	62	66	70	76	56	58	62	65	71										
13	1.90	96	100	105	112	120	90	93	98	105	113	84	87	92	98	105	78	81	85	91	98	72	75	79	84	90	66	69	73	77	83	62	64	68	72	78															
14	2.00	98	102	105	115	124	92	96	101	107	116	86	89	94	100	105	80	83	87	93	100	74	77	81	86	93	68	71	75	79	86	63	66	70	74	80															
15	2.10	101	105	110	117	127	94	98	103	110	119	88	92	96	103	111	82	85	90	95	103	75	79	83	88	95	70	73	77	81	88	66	68	71	76	82															
16	2.20	103	107	113	120	130	97	101	106	113	121	90	94	99	105	113	84	87	92	98	105	77	80	85	90	97	71	74	78	83	90																				
17	2.30	105	110	115	123	132	99	103	108	115	124	92	96	101	107	116	86	89	94	100	107	79	82	87	92	99	73	76	80	85	92																				
18	2.40	107	112	118	125	135	101	105	110	117	127	94	98	103	109	118	87	91	96	102	110	87	84	88	94	101	74	77	82	87	94																				
19	2.50	109	114	120	128	138	103	107	113	120	129	96	100	105	112	120	89	93	97	104	112	82	85	90	96	103																									
20	2.60	112	116	122	130	140	104	109	115	122	131	97	101	107	114	122	90	94	99	106	114	84	87	92	98	105																									
21	2.70	113	118	124	132	143	106	111	117	124	134	99	103	109	116	125	92	96	101	107	116	85	88	93	99	107																									

## BIBLIOGRAFIA

1. **BUENO, J** 1970. Introducción, en Investigación Forestal en el Perú, Centro de Investigaciones Forestales, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, ,198p.
2. -----1972, Recomendaciones para Normalizar Postes de Madera, en Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de energía, Informe Final, Convenio UNA-MEM-ITINTEC, Departamento Académico de Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, 218 p.
3. -----1975 , Resistencia Mecánica, .en Ampliación del Estudio de Investigación de Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía, Informe Final Convenio UNA-MEM, Departamento Académico de Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria, La Molina, 170p.
4. - -----1976. Id (Zona Pucallpa) 42 P.
5. **HUTTE 1964**. Manual del Ingeniero, Edit. Gili, Barcelona, Vol. 1, 1563 p., Vol. III 1552 p.
6. **IS.** 1961. Especification for Wood Poles for Overhead Power and Telecommunication Lines, Nueva Delhi, 14 p.
7. **ITINTEC.** 1973. Informe Final del Trabajo de Normalización de Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía, Lima, 107 p.
8. -----1973. Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Glosario, Norma 251. 021, Lima, 5 p.
9. -----1973. Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Requisitos Generales, Norma 251.022, 11 P.
10. -----Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Ensayo de Rotura, Norma 251.023, Lima, 12 p.
11. ----- 1973. Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Postes de Eucalipto, Norma 251-024, Lima. 3 p.
12. -----1973. Postes de Madera para Líneas Aéreas de Conducción de Energía: Especies Forestales de Montaña Útiles para Postes, Esquema de Norma 251.024, - Lima, 3 p.
13. -----1979, Catálogo de Normas Técnicas ITINTEC, Lima, 224 p.
14. **PESCHARD E.** 1963. Resistencia de Materiales, Universidad Autónoma de México, México, 346 p.
15. **RAFFO C.M.** Introducción a la Estática y Resistencia de Materiales, Edit. Alsina Buenos Aires, 267 p.