



JOSE M. SALVADO M.

# ESTUDIOS SOBRE POSTES

Guatemala, Noviembre de 1976

08T(413)C  
MFN: 989

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

# **ESTUDIOS SOBRE POSTES**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD  
DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA, POR**

**JOSE M. SALVADO M.**

**AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**



**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**Biblioteca Central**

**Guatemala, Noviembre de 1976.**



JUNTA DIRECTIVA  
DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

Decano: ----- Ing. Raúl Molina  
Vocal 1o.: ----- Ing. Julio Campos  
Vocal 2o.: ----- Ing. Roberto Batres  
Vocal 3o.: ----- Ing. Leonel Aguilar  
Vocal 4o.: ----- Br. Jorge Guzmán  
Vocal 5o.: ----- Br. Alejandro Berganza  
Secretario: ----- Ing. Carlos Cabrera G.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

Decano: ----- Ing. Hugo Quán M.  
Examinador: ----- Ing. César Fernández  
Examinador: ----- Ing. Roberto Orantes  
Examinador: ----- Dr. Carlos Muñoz  
Secretario: ----- Ing. José Luis Terrón

**TESIS DE REFERENCIA**  
**NO**  
**SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA**  
**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC.**

**DEDICO ESTE ACTO:**

**A todos aquellos quienes en una u otra forma han contribuido a que obtenga el título de Ingeniero Civil y de una manera muy especial,**

**A mis Padres.**

**A mis Hermanos.**

**A mi Novia.**

**A mis Compañeros de Trabajo, Personal de ARTSA.**

**A mis Asesores de Tesis.**

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

*En cumplimiento con lo establecido por las leyes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de Tesis titulado:*

*ESTUDIOS SOBRE POSTES*

*tema que me fuera asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.*

## I N D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION Y GENERALIDADES .....	9
II. DETERMINACION DE CARGAS .....	13
III. LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO .....	17
IV. POSTES DE MADERA .....	27
1. Abundancia .....	27
2. Durabilidad y Tratabilidad .....	27
3. Localización .....	27
4. Resistencia .....	28
5. Forma .....	28
V. POSTES DE CONCRETO Y METALICOS .....	45
1. Generalidades .....	46
2. Dimensiones .....	47
3. Características de Diseño .....	47
4. Muestreo .....	49
5. Métodos de Prueba .....	49
a) Prueba de trabajo .....	50
b) Prueba de ruptura .....	50
6. Prueba de Calidad de Materiales .....	51
7. Normas Aplicables .....	52
VI. FABRICACION .....	77
VII. RECOMENDACIONES .....	81
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	87

## I. INTRODUCCION Y GENERALIDADES

Los postes son estructuras de aplicación múltiple en la actualidad. De aquí se desprende la importancia que tienen en el campo ingenieril y la necesidad de tener para éstos un método de diseño que sea racional y sencillo.

Se usan postes para estructuras en subestaciones, sistemas de comunicación, iluminación, semáforos y señales reguladoras de tráfico, tranvías y sistemas de tracción, líneas de distribución y transmisión, cercos, etc.

Se puede apreciar sin mucho esfuerzo que sus usos son de lo más variado y a esto se debe que los postes se fabriquen en una gama muy extensa de tamaños, materiales y secciones para satisfacer las necesidades del uso en particular al que se les destine.

Básicamente el objetivo de cualquier poste es el de soportar con eficiencia las cargas a las que vaya a estar sujeto; debe ser una estructura fuerte y estable y deben de minimizar las vibraciones tanto como sea posible. Por otra parte, los postes deberían ser estructuras atractivas, durables, livianas, económicas y fáciles de instalar. En medios subdesarrollados como el nuestro, en los que la economía no es muy floreciente y hay escaso equipo especializado, debe darse singular importancia a los tres últimos aspectos arriba mencionados.

Al elegir el tipo de poste a usar, se deben pesar factores tales como: resistencia, durabilidad, mantenimiento, economía y estética, contra los requerimientos o necesidades del usuario en cada situación particular.

La resistencia que se deba dar al poste será una función de las cargas que deba soportar y de los coeficientes de seguridad que se adopten en el diseño. Independientemente de las cargas, si se usa un coeficiente de seguridad alto se emplearán más o mejores materiales en la fabricación del poste, lo que se traducirá en un costo final más elevado.

Los postes son estructuras expuestas a la intemperie y por lo general son estructuras que son de carácter permanente. No se reemplazan a menos que sea por falla del poste mismo. Cobran entonces importancia los factores de durabilidad y mantenimiento. Es así como debe escogerse un material que sea durable y que requiera el mínimo posible de mantenimiento, ya que la frecuencia con que deban restaurarse o reponerse cada una de las unidades, incidirá directamente sobre el costo.

Al considerarse el factor economía, también deberán considerarse fases tal como la fabricación, transporte e instalación, ya que los costos de éstos pesarán sin duda en el costo total de todo el proceso.

La distancia a la que los postes tengan que ser trasladados previa su instalación, afectará en más o en menos los gastos de transporte. Independientemente de la distancia tenemos el peso y el tamaño de los mismos, que vienen a determinar el equipo que será necesario para su transporte y todo aquel que se necesite para manipuleo. Hasta hace poco tiempo los postes de mayor tamaño alcanzaban alturas de 60'. En la actualidad los hay mucho mayores. Los sistemas modernos en el campo de la iluminación usan postes de 100 a 150' de altura, ya que permiten la iluminación adecuada de superficies relativamente grandes con un reducido número de postes. Esto ha dado como resultado una economía en el sistema.

En lo que respecta a materiales usados para postes, hay una gran variedad. En Estados Unidos de América el acero encabeza la lista. Los postes hechos de acero tienen la desventaja de que necesitan una protección galvánica para eli-

minar el mantenimiento superficial que constantemente habría que darle a este material, para evitar el deterioro por corrosión y óxidos. Si estos postes no se galvanizaran, habría que pintarlos regularmente, lo que viene a ser una tarea difícil especialmente en especímenes muy altos y en estructuras de difícil acceso.

Se fabrican también postes de acero inoxidable a mayor costo que los de acero. Son más duros y resistentes que los anteriores y se mantienen inmunes a la corrosión, incluso en ambientes contaminados. La sal que se encuentra en ambientes marinos no les afecta, y su mayor dureza les dan una resistencia excelente contra raspones y pequeñas abolladuras.

El aluminio centrifugado es otro material muy popular para la fabricación de postes. Es más caro que el acero. Los postes hechos con este material pesan muy poco, lo que se traduce en economía en transporte y manipuleo. Es un material que no necesita ningún tipo de recubrimiento o protección; es decir, que el mantenimiento que hay que darle a estos postes es prácticamente nulo. Si llegaran a dañarse en algún accidente, tal como en una colisión de vehículos, éstos se reparan fácilmente soldándoles una sección nueva, en tanto que los postes hechos de otros materiales son por lo general insalvables.

Dada la baja resistencia del aluminio al impacto, estos postes presentan menos riesgo para los ocupantes de vehículos en caso de colisión. Su relativa suavidad y baja resistencia los hace muy susceptibles al vandalismo.

El concreto es otro material muy usado. Su popularidad va en aumento día a día, ya que permite hacer estructuras bastante resistentes y además, se puede darles las formas más caprichosas. Se hacen postes de concreto reforzado y preeforzado, teniendo estos últimos muy buena resistencia a la tracción. Como material el concreto es muy durable, ya que debidamente hecho se hace más resistente con el tiempo. Es un material inerte en casi cualquier tipo de ambiente y no necesita protegerse con pintura o recubrimien-

tos similares. Es inmune a las plagas y prácticamente no necesita mantenimiento alguno.

El peso de los postes fabricados de concreto, aunque es sensiblemente mayor que el de los postes hechos de otros materiales, puede ser tan liviano como lo permitan las cargas que debe soportar.

La madera es de los materiales más comunes para la fabricación de postes. A la madera para hacerla durable se le tiene que dar tratamientos especiales. Las especificaciones para estos postes previenen ciertos defectos permisibles debido a las condiciones variables del crecimiento de los árboles. Los valores de resistencia para estos postes están basados en carga aproximadas de ruptura para las estructuras nuevas y, debido a esto, deben de considerarse factores de seguridad adicionales para tomar en cuenta la pérdida de resistencia debido al deterioro del material.

Lo más nuevo en materiales para postes en Estados Unidos es la fibra de vidrio mezclada con resinas de polyster. El resultado es un poste económico y flexible, inerte a la acción de ácidos y sales, e inmune al ataque de insectos y plagas. Entre sus principales desventajas se puede mencionar que llega a la ruptura violenta bajo carga excesiva y que el material es altamente combustible.

En Guatemala la práctica de la fabricación de postes está limitada al uso del concreto y de la madera. En algunos lugares se encuentran postes metálicos, pero su uso es escaso. Esto se debe entre otras causas a la relativa abundancia de madera que hay en el país y al alto precio del metal y de medios para su proceso en contraposición a la accesibilidad que se tiene a las materias primas del concreto y facilidad de fabricación.

Es por esto que los postes de madera y concreto serán el enfoque principal de esta tesis.

## II. DETERMINACION DE CARGAS

Las cargas que actúan sobre los postes pueden dividirse en:

- a. Cargas longitudinales;
- b. Cargas transversales;
- c. Cargas verticales.

*Las cargas longitudinales* son debidas a la tensión de los conductores y cables de tierra. La tensión mecánica de los conductores se considera como la resultante del peso de los conductores mismos y de la fuerza producida por el viento actuando horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea.

Por lo general, las tensiones están en equilibrio entre tramos adyacentes; por lo tanto, no es necesario considerarlas para postes o estructuras comprendidas en tramos rectos de líneas aéreas, donde no cambie la tensión mecánica de los conductores a uno y otro lado de los postes o estructuras. Aún así, puede darse el caso de rotura de alguno de los cables conductores, lo que produce un desequilibrio considerable acompañándose de efectos de torsión.

Es común despreciar la acción del viento en el sentido longitudinal.

En remates, el esfuerzo longitudinal se debe considerar igual a la suma de las tensiones de todos los conductores que rematen en el poste o estructura.

En donde la línea cambie de dirección, la carga debida a la tensión de los conductores y el viento, sobre los postes y las estructuras que éstos soporten, se debe considerar igual a la resultante de las tensiones de los conductores originada por el cambio de dirección de la línea, sumada aritméticamente a la fuerza del viento calculada como si la línea fuera recta.

La *carga transversal* es aquella debida a la acción del viento sobre los conductores, soplando horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea.

Hay discrepancia de criterios acerca de la presión que ejerce el viento sobre una estructura. Esta presión es función de la velocidad del viento en cada situación particular, pero el valor de la misma puede asumirse entre  $73 \text{ kg/m}^2$  y  $98 \text{ kg/m}^2$  cuando se carece de datos.

El reglamento de obras e instalaciones eléctricas de México recomienda lo siguiente:

- a. Para todas las superficies cilíndricas del poste o estructura y conductores soportados, debe considerarse una presión no menor de  $39 \text{ kg/m}^2$  ( $8 \text{ lb./p}^2$ ) sobre el área proyectada.
- b. Cuando la estructura tenga superficies planas, se debe tomar una presión no menor de  $60 \text{ kg/m}^2$  ( $12.2 \text{ lb./p}^2$ ) actuando sobre el área proyectada en un plano normal a la dirección del viento.

El American Electrical Handbook recomienda que se use una presión de  $49$  a  $98 \text{ kg/m}^2$  sobre una superficie de una vez y media (1.5) la superficie de la cara expuesta al viento en dirección horizontal; además, como regla práctica consideran que la carga a sotavento es la mitad de la carga sobre la cara expuesta al viento debido al efecto de pantalla.

Las cargas transversales sobre cualquier poste o estructura podrán tomarse usando el promedio de las distancias interpostales, siempre que este promedio no difiera en más

de 25% de las distancias interpostales a uno y otro lado del poste o estructura de que se trate. Sin embargo, en cruces con ferrocarriles la carga deberá calcularse usando la distancia interpostal real.

*La carga vertical*, en cada caso, deberá considerarse como el peso propio del poste más el peso de los cables y todo el equipo que soporten, tomando en cuenta los efectos que pueden resultar de la diferencia de elevación entre soportes de conductores.

Por lo general, se desprecian los esfuerzos de compresión debidos a la carga vertical a menos que se tenga que soportar equipo muy pesado. Si este fuera el caso, debe darse suficiente atención a los esfuerzos de flexión adicionales resultantes del efecto de las cargas verticales sobre el poste ya deflectado, y a la excentricidad de la carga vertical.

Al determinar los esfuerzos que obran sobre torres y postes, es necesario combinar el efecto de las fuerzas transversales, las longitudinales y las verticales considerando que actúan simultáneamente.

Primero debe suponerse que todos los cables están intactos y que actúan la totalidad de las fuerzas transversales y verticales.

Luego, asumiendo que hubiera cables rotos, las fuerzas longitudinales originadas en esta situación deben combinarse con las transversales y verticales en todos los puntos de apoyo en que se presenta rotura de conductores. Cuando se suponen rotos más de un conductor, se acostumbra considerar que todas las roturas están en el mismo vano y en los apoyos que producen el máximo momento de torsión, máximo par, o una combinación de ambos.

La práctica usual transforma los resultados del análisis en una única carga equivalente, aplicada a 0.61 metros de la punta; y el diseño final, se hace básica a flexión.

### III. LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO

La profundidad a que se debe cimentar un poste, es función de las características del subsuelo y de las cargas aplicadas.

A pesar de esto hay recomendaciones prácticas que definen la profundidad a la que deben hincarse estas estructuras. El American Electrical Handbook dice que los postes debieran cimentarse a una profundidad igual a  $1/6$  de su longitud total.

La Comisión Federal de Electricidad de México, relaciona la altura de empotramiento (E) a la altura total del poste (A) de la siguiente manera:

- a) Si  $A \leq 7.50$  m. (si la longitud total del poste es menor o igual a siete y medio metros), entonces  $E = 1.25$  m.;
- b) Cuando A sea mayor de 7.50 m., E se determina por la fórmula:  $E = 0.10 A + 0.50$  (expresado de metros) y es aplicable para postes cuya altura total sea igual o menor a 18 metros.

La tesis de graduación del Ing. Carlos Leonel Aldana Guerra, ofrece una tabla que se reproduce a continuación:

Longitud Total	Longitud de Empotramiento
6.00 m.	1.20 m.
8.00 m.	1.50 m.
9.00 m.	1.65 m.
10.60 m.	1.85 m.
14.00 m.	2.00 m.

Por último, se reproduce una tabla de "Betoma North America Limited" para suelos normales de  $p = 19530$  kg/m<sup>2</sup> y relleno de suelo bien compactado.

Largo del Poste (m.)	Profundidad de empotramiento recomendada (m.)
7.62 — 9.14	1.52
hasta 10.67	1.68
" 12.19	1.83
" 15.24	1.98
" 18.29	2.13
" 21.33	2.29

En general, la carga vertical no es la condición que gobierna la profundidad de empotramiento. La carga vertical es resistida fundamentalmente por la reacción del suelo en la base, pero también ayuda el corte y la fricción que se desarrollan en la superficie entre el suelo y el poste.

Según el Wood Engineering, la distribución de la presión pasiva en la porción empotrada del poste presenta dos porciones perfectamente definidas; una directamente abajo de la superficie del suelo en la forma de una parábola con una presión promedio X1 y con una profundidad igual a 0.68 D; la otra, se encuentra por debajo del punto de rotación del poste, teniendo una presión promedio de X2 y una profundidad de 0.32 D.



De la figura (1)

$Q = Q_1 - Q_2$  en donde  $Q_1$  &  $Q_2$  son las presiones pasivas resultantes.

La figura (1) es una distribución de alturas y posición de resultantes obtenida por P. C. Rutledge en la Universidad de Purdue.

Para el caso de la figura (2), con el extremo superior restringido al giro, tomando momentos respecto de  $Q_1$ :

$$Q(H_2 + 0.34D) = Q_2(0.22D + 0.34D) = Q_2(0.56D)$$

$$Q_2 = \frac{(H_2 + 0.34D) Q}{0.56 D}$$

Tomando el valor de  $Q_1$  como:

$$Q_1 = X_1 B (0.68 D)$$

y regresando a sustituir a la ecuación

$$Q = Q_1 - Q_2$$

tenemos:

$$Q = X_1 B (0.68D) - \frac{Q(H_2 + 0.34D)}{0.56 D}$$

y finalmente,

$$Q = \frac{BD^2}{X_1} \quad 2.37 D + 2.64 H_2$$

Si el extremo superior está libre y tomando momentos respecto de  $Q_1$ :

$$Q ( H + 0.34D ) = Q_2 ( 0.56D )$$

$$Q_2 = \frac{Q ( H + 0.34D )}{0.56 D}$$

$$Q = X_1 B ( 0.68D ) - \frac{Q ( H + 0.34D )}{0.56D}$$

$$\frac{X_1}{Q} = \frac{2.37D + 2.64H}{BD^2}$$

en donde  $X_1$  depende del suelo inmediatamente debajo de la línea de tierra.

Sustituyendo los valores de  $Q_1$ ,  $X_1$  &  $B$ , se llega a una ecuación cúbica para "D", a que puede resolverse por tanteos con poca dificultad. Sin embargo, podemos llegar a una ecuación cuadrática si se toma la presión pasiva  $X_1$  como un valor definido y no como una función de "D".

Para el caso en que haya restricción lateral como la existencia de un piso rígido o un pavimento de concreto en la línea de tierra, la profundidad de empotramiento puede determinarse como:

$$D^2 = \frac{4.25 H^2 Q}{X_1 B} \quad \text{Cuando el extremo superior está restringido al giro}$$

$$\& \quad D^2 = \frac{4.25 QH}{X_1 B} \quad \text{Cuando el extremo superior está libre}$$

El "Timber Construcción Manual" ofrece el siguiente procedimiento para la determinación de la profundidad que debe empotrarse un poste. Debe calcularse primero la presión pasiva, lo que se puede hacer por medio de la fórmula de Rankine:

$$p = \frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} wd, \text{ en donde}$$

$p$  = presión pasiva permisible ( $\text{kg/m}^2/\text{m}$ )

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo (grados)

$w$  = peso del material ( $\text{kg/m}^3$ )

$d$  = profundidad bajo línea de tierra

Para los distintos tipos de suelo, se reproduce una tabla con las presiones pasivas laterales permisibles:

Clase de Material	Presiones permisibles Por metro de profundidad	Presiones máximos Permisibles
<b>BUENO</b>		
— Grava y arena compacta y bien graduada	6410 $\text{kg/m}^2/\text{m}$	39060 ( $\text{kg/m}^2$ )
— Barro duro		
— Arena fina y gruesa bien graduada (todos drenados)		
<b>PROMEDIO</b>		
— Arena fina compacta	3200 $\text{kg/m}^2/\text{m}$	12200 ( $\text{kg/m}^2$ )
— Barro no muy duro		
— Arcilla arenosa compacta (todos drenados)		
<b>MALO</b>		
— Barro suave	1600 $\text{kg/m}^2/\text{m}$	7300 ( $\text{kg/m}^2$ )
— Barro arcilloso		
— Arena mal compactada		
— Barro con grandes cantidades de limo (no drenados)		

Los valores están dados en kg/m<sup>2</sup>. Postes aislados como astas de banderas o señales de tráfico, pueden usar el doble de los valores que aparecen en la tabla.

Para una primera aproximación de la profundidad de empotramiento, se puede usar la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{12 h P}{B p}}$$

d = profundidad de empotramiento (m.)

P = carga horizontal aplicada sobre el poste (kg.)

h = altura sobre la línea de tierra a la cual la carga P está aplicada (m.)

B = diámetro del poste en su extremo inferior (m.)

p = presión pasiva permisible (kg/m<sup>2</sup>/m.)

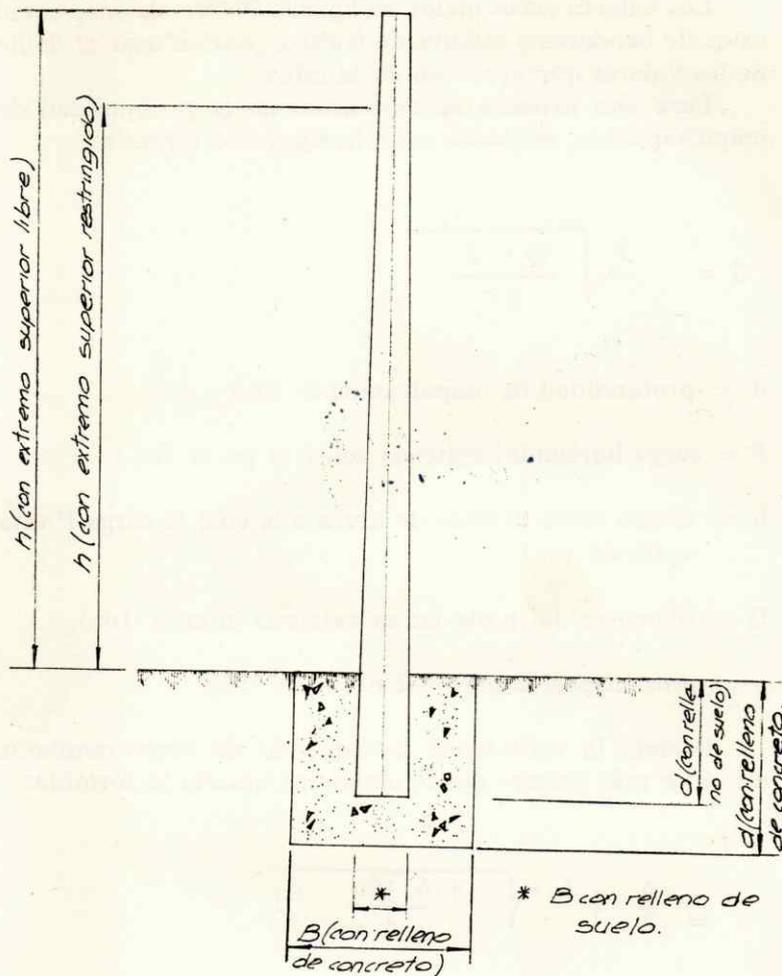
Usando la profundidad aproximada de empotramiento, un valor más preciso puede obtenerse usando la fórmula:

$$d = \frac{A}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4.36h}{A}} \right)$$

donde A = 2.34 P/S<sub>1</sub>B

S<sub>1</sub> = pd/3

d = profundidad de empotramiento aproximada (m.)



Si el poste está restringido en la línea de tierra por un piso rígido de concreto, se usa la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{42.5 Ph}{S_3 B}}$$

los valores calculados para  $S_3$  no pueden exceder los valores máximos dados en la tabla 3.1

donde  $S_3 = pd$

Para postes que tengan algún grado de restricción en el extremo superior, el punto en el cual actúa la carga aplicada es el punto de inflexión del poste. Para postes tronco cónicos, se supone que el punto de inflexión está a  $2/3$  de la distancia de la línea de tierra al punto de restricción.



#### IV. POSTES DE MADERA

Hay varios factores que deben considerarse al seleccionar especies que vayan a servir para la fabricación de postes. Entre otras podemos mencionar las siguientes:

1. Abundancia:

Debe haber una dotación adecuada de ejemplares de la misma especie para poder considerarla como fuente potencial para la fabricación.

2. Durabilidad y Tratabilidad:

La madera por lo general es víctima fácil de plagas, insectos, químicos, hongos y demás. El decaimiento que sufre, en postes en particular, se localiza generalmente en la línea de tierra o muy próximo a ésta, pues es aquí donde la madera está alternativamente mojada y seca. Es por esto que aquella especie que se seleccione debe de ser durable por naturaleza. De lo contrario, debe protegerse con tratamientos superficiales y debe escogerse una que pueda ser satisfactoriamente penetrada con los procedimientos usuales de preservación.

3. Localización:

Esto es importante al considerar el esfuerzo que debe hacerse para transportar los ejemplares del bosque a la

planta de tratamiento, o de ésta a su destino final. Los costos en que se incurran pueden hacer una especie mucho más favorable que otras.

4. Resistencia:

Los ejemplares que se usen tienen que ser lo suficientemente fuertes para soportar con satisfacción las cargas de viento y los conductores y equipo que han de llevar.

5. Forma:

Los postes tienen que ser razonablemente rectos y con una variación gradual en su sección transversal. Los defectos tales como nudos tendrán que ser limitados en número y tamaño para garantizar una resistencia adecuada. Una buena apariencia es particularmente deseable en áreas o zonas residenciales y urbanas.

Por último, se puede decir que en lo posible deberán ser poco pesados facilitando así el transporte y manipuleo.

En Estados Unidos los postes de madera han sido clasificados por la American Standards Association.

Los tamaños de los postes en dichas clases están arreglados de tal forma que todos los postes de una clase, independientemente de su longitud o especie, resisten la misma carga horizontal aplicada a 2 pies (0.61 m.) de la punta.

Las diferentes clases de la A.S.A. (ahora A.N.S.I.) y las cargas que producen el esfuerzo último en la línea de tierra, se reproducen a continuación:

Clase	Carga (kg.)
1	2,041
2	1,687
3	1,361
4	862
6	680
7	544

El diámetro mínimo a 1.83 m. de la base, se calcula suponiendo que se alcanza el esfuerzo último en la línea de tierra con las cargas de la tabla anterior.

Por lo general, no se admiten postes más cortos de 0.10 m., ni más largos de 0.20 m. de la que sea su longitud nominal. El volumen de los postes de sección transversal circular puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$V = 0.2618L (D^2 + d^2 + Dd) \text{ todas las dimensiones en metros}$$

V = volumen

L = largo

D = diámetro en la punta

d = diámetro en la base

La Norma DIN 57210 dice que en un poste de crecimiento recto, debe asumirse un incremento en el diámetro de la sección de 0.07 m. por cada metro de longitud. El diámetro mínimo en la punta se calcula por:

$$Z = 0.65 H + K \sqrt{A \sum d} , \text{ en donde:}$$

Z = diámetro mínimo (cm.)

H = largo total del poste (m.)

A = vano (en metros)

d = suma de los diámetros de todos los conductores colocados en el poste

K: 0.22 para esfuerzos de flexión  $\leq$  145 Kg/cm<sup>2</sup>

0.19 para esfuerzos de flexión  $\leq$  190 Kg/cm<sup>2</sup>

Los tratamientos que se dan a la madera pueden hacerse en tanques a presión o tanques abiertos.

La manera más efectiva es usando tanques a presión. Hay muchos sistemas aunque todos funcionan básicamente

igual. La madera que se va a tratar se coloca sobre rodos que corren hasta llegar a un tanque, en el que una vez herméticamente cerrado, se aplica presión para que el preservador penetre en la madera hasta lograr la absorción debida.

Hay dos tipos principales de tratamientos bajo presión:

- a) Celda llena (Bethell)
- b) Celda vacía (Rueping)

El primero es usado ampliamente con preservadores disueltos en agua o con aceites, cuando se desea que la retención sea máxima.

No es muy satisfactorio cuando se especifican límites en la retención del preservador. Los pasos son:

- 1) Después que el lote de madera se ha puesto en el tanque de tratamiento se aplican bombas de vacío para extraer el aire del depósito y de la madera tanto como sea posible.
- 2) El preservador, una vez calentado a una temperatura un poco mayor que la temperatura de tratamiento, se admite en el depósito sin permitir la entrada de aire.
- 3) Se aplica presión hasta que se obtiene la absorción requerida.
- 4) Se retira el sobrante de la mezcla preservadora.

En el proceso de celda vacía, el principal objetivo es lograr una buena penetración del preservador, con una retención total relativamente baja.

Los dos sistemas principales para tratamientos de celda vacíos son el de Rueping y el de Lowry, los cuales son muy semejantes.

El procedimiento general sigue a continuación:

1. Se pone el lote de madera a tratar en el tanque y se introduce aire a presión, entre 1.76 y 7.03 kg/cm<sup>2</sup>, en un período que va de unos cuantos minutos hasta 1 hora dependiendo del tipo de madera que se esté tratando.
2. Se introduce la mezcla preservadora que se intercambia con el aire a presión y una vez que el depósito está lleno, se aumenta a presión hasta que se llega al límite de absorción deseado.

Los tanques a presión, tanto los de celda llena como los de celda vacía, funcionan con una presión que oscila entre 7.03 y 14.06 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo del sistema particular empleado. Las especificaciones requieren que la temperatura del preservador durante el período de presión no sea menor de 160°F ni mayor de 200°F.

La aplicación de preservadores en tanques abiertos no es tan efectiva como aquella hecha bajo presión. Debería usarse el método de tanques abiertos solamente cuando es impráctico usar el otro.

El proceso de baño frío y caliente es el más efectivo de los que no usan presión. El tratamiento consiste en calentar la madera dentro del preservador por espacio de varias horas y luego enfriarla dentro del penetrante durante varias horas. Puede lograrse de varias maneras:

1. traslado la madera de un tanque con aceite caliente a otro con aceite frío en el momento preciso;
2. drenando el aceite caliente del tanque y llenándolo rápidamente con aceite frío.

Durante el baño caliente, el aire y la humedad que se encuentra en los poros de la madera se expande y es expul-

sada parcialmente. Cuando llega el período de enfriamiento, el aire y el vapor de agua en la madera se contraen formando bolsas minúsculas de vacío, las que hacen posible la penetración del preservador.

En este proceso se usa creosota (coal-tar creosote), por lo general como preservador. Para el baño caliente se usan temperaturas hasta de 230°F y el frío se hace usualmente con temperaturas de 100°F. La duración de ambas etapas está gobernada por la facilidad con que la madera acepte el tratamiento y por los requerimientos que determina el ritmo de producción.

Se usa también el proceso de inmersión, en el cual se usan creosota y otros similares como mezclas preservadoras. El método consiste en sumergir la madera en fluido caliente por poco tiempo generalmente de 5 a 15 minutos. Luego, se retira el ejemplar lentamente, permitiendo que el exceso de aceite regres al tanque. La temperatura debiera ser entre 200°F y 230°F.

El más simple de los métodos que no usan presión consiste en atomizar el preservador sobre la superficie que se desea proteger. También se puede aplicar con brocha y preferentemente debe aplicarse en caliente.

Los preservadores los hay fundamentalmente de tres tipos:

- a) Creosona o soluciones de creosota.  
Son poco volátiles y prácticamente insolubles por lo que son más usados en elementos expuestos a contacto prolongado con agua y suelo.
- a) Creosota o soluciones de creosota.  
Son compuestos orgánicos disueltos en aceite y se usan en elementos al aire libre. Dependiendo del tipo de aceite usado, pueden dejar una superficie relativamente

limpia y su principal desventaja es que tienen un olor un poco fuerte y peculiar.

e) Sales inorgánicas.

Se disuelven en agua o amoníaco, las que se evaporan después del tratamiento permitiendo que la madera retenga solamente las sales. Son las más adecuadas donde se necesitan superficies limpias y carentes de olor.

Los métodos de tratamiento no son exclusivos de las estructuras nuevas. Se usan tratamientos preservadores también en postes que estando ya en servicio han comenzado a deteriorarse. El tratamiento busca entonces evitar el subsecuente decaimiento de la madera y hacer mayor la vida de servicio del poste.

Los métodos usados en la actualidad requieren excavar alrededor del poste, a una profundidad de 12" a 18" bajo la línea de tierra, y aplicar el preservante a la superficie expuesta del poste.

Un método ya patentado en los E.U.A. usa una sustancia preservativa en forma de pasta. Esta se aplica a la superficie del poste y se recubre con un papel impermeable. Otro sistema también patentado usa una aguja gruesa y hueca para inyectar el preservativo en la madera.

*"Procedimiento de Diseño"*

Los pasos para el diseño de postes:

1. Determinar las cargas.

La carga principal en un poste es la carga de viento; debe determinarse de acuerdo al código de construcción vigente o en su defecto en base a experiencia.

2. Determinar las características del suelo.

Preferentemente se obtienen muestras del material para poder determinar su valor, soporte, ángulo de fricción interna, etc.; de lo contrario, debe realizarse una inspección visual del terreno para poder estimar los valores antes mencionados.

3. Estimar el tamaño de poste requerido.

La A.S.A. tiene tabuladas las diferentes clases de postes con las cargas que pueden soportar de acuerdo a la longitud libre de cada poste. De aquí se puede obtener una primera aproximación del poste a usar.

Para calcular la circunferencia en cualquier punto del poste, la A.S.A. (ahora A.N.S.I.), recomienda asumir una variación lineal de 1/4" de circunferencia por cada pie de longitud.

4. Determinar la longitud de empotramiento del poste.

5. Comprobar el esfuerzo de flexión del poste.

El momento flector en el poste en el punto de momento máximo que se asume estar a 1/4 de la profundidad de empotramiento por debajo de la línea de tierra, puede determinarse por la siguiente fórmula, en donde:

- c = distancia de e.n. a fibra extrema
- C = circunferencia en el punto de Mmax
- D = diámetro en el punto de Mmax

$$f_b = \frac{32 \Pi^2 M}{C^3} = \frac{32 M}{\Pi D^3} \quad (4-1)$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} \text{ en donde } c = D/2 \text{ \& } I = \frac{\Pi D^4}{64} \text{ \& } C = \Pi D$$

El esfuerzo de flexión como calculado en la ecuación 1), no puede exceder los permisibles para la especie particular de que se trate.

6. Comprobar el esfuerzo de compresión.

Las cargas verticales deberán computarse como aquellas que tenga que soportar como consecuencia del equipo y conductores que descansan sobre el poste, más una tercera parte de su propio peso.

El esfuerzo permisible para una columna de sección circular puede determinarse por:

$$F'_c = \frac{3.6 E}{(L/r)^2} = \frac{0.22 E}{(L/D)^2} \quad (4-2)$$

en donde:

$F'_c$  = esfuerzo permisible de compresión paralela ajustada a la relación de esbeltez (kg/cm<sup>2</sup>)

$E$  = Módulo de elasticidad de la madera (kg/cm<sup>2</sup>)

$L$  = longitud libre del poste (cm.)

$r$  = menor radio de giro del poste  $r = \frac{D}{4}$  (cm.)

$D$  = diámetro del poste a 1/3 de la altura medida desde la punta (cm.)

La relación  $L/D$  no debiera esatr en exceso de 43 para columnas redondas.

El esfuerzo de compresión debido a las cargas ( $f_c$ ) se calcula como:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (4-3)$$

en donde:  $P$  = carga vertical total  
 $A$  = área de la sección en la unta

7. Determine los requerimientos de cimentación.

Se pueden determinar si la clase de suelo, carga vertical en el poste y tamaño del mismo se conocen.

La carga transmitida al suelo por la estructura se puede calcular como:

$$Q_t = \frac{P}{A} \text{ en donde } P = \text{carga vertical total}$$

$A = \text{área de la base}$

A continuación se reproducen algunas de las tablas de la A.S.A. tal como aparecen en el "Timber Construction Manual"

TABLA 4.1

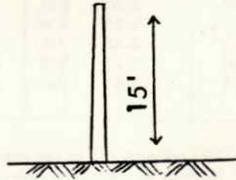
Clase		1	2	3	4	5	6	7	9	10
Circunferencia mín. en la punta (cm.)		69	64	58	53	48	43	38	38	30
long. del poste (m.)	Distancia a la línea de tierra de la base (m.) <sup>*/</sup>	Circunferencia mínima a 1.80 m. de la base (cm.)								
6.10	1.20	79	74	69	64	58	53	50	44	36
7.60	1.50	85	80	75	70	65	58	55	50	38
9.15	1.70	93	86	81	75	70	64	60	52	
10.65	1.85	99	93	86	80	74	69	64		
12.20	1.85	104	98	91	85	79	72	67		
13.70	2.00	109	103	95	89	83	76	71		
15.25	2.15	114	107	99	93	86	80	74		
16.75	2.30	118	110	103	97	89	83			
18.30	2.45	122	114	107	99	91	85			
19.80	2.60	126	118	110	103	95				
21.35	2.75	130	122	114	105	98				
22.85	2.90	133	124	117	109					
24.40	3.05	137	128	119	112					
25.90	3.20	140	131	122						
27.45	3.35	142	135	124						
28.95	3.35	145	137	127						
30.50	3.35	149	140	130						
32.00	3.65	151	142	132						
33.55	3.65	154	145	135						
35.05	3.65	156	147							
36.60	3.65	159	150							
38.10	3.65	161	151							

\*/ Esta columna sólo se usa cuando se necesita una definición de localización de la línea de tierra para poder aplicar los requerimientos de irregularidades permisibles tal como nudos, textura y rectitud de los postes mismos.

### Cargas Verticales Permisibles

Longitud libre sobre línea de tierra ( m.)	Carga (kg. * 1000)			
	Diámetro de la punta ( cm.)			
	20	18	15	13
	Clasificación A.S.A.			
	2	3	5	6
0	29	23	17	11
3.05	29	23	13	6
3.65	29	19	12	5
4.25	24	14	8	4
4.90	18	11	6	3
5.50	15	9	5	3
6.10	13	8	5	2
7.60	9	5	3	
9.15	6	4		
10.65	5			

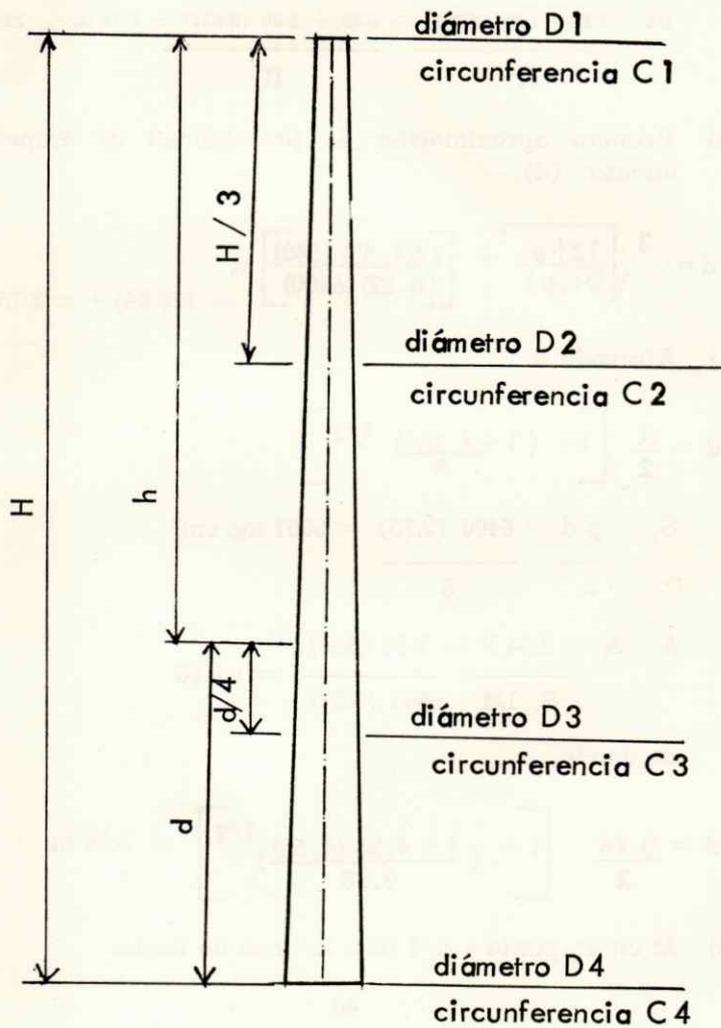
TABLA 4.2



**Ejemplo:**

$$\begin{aligned}
 C_v &= 4540 \text{ kg} & F_b &= 152 \text{ kg/cm}^2 \\
 C_h &= 540 \text{ kg} & E &= 1.12 * 10^5 \text{ kg/cm}^2 \\
 p &= \text{presión pasiva} = 6400 \text{ kg/m}^2/\text{m} \\
 k &= \text{capacidad soporte del suelo} = 39000 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

- 1) Para una longitud libre de 4.55 m. y una carga vertical de 4540 kg de la tabla 4.2 se selecciona un poste clase 5 (A.S.A.).
- 2) Asumiendo 2.45 m. de empotramiento ( $2.45 + 4.55 = 7.00$  m.) de la tabla 4.1 el poste de 7.60 m. clase 5 tiene una circunferencia mínima en la punta de 48 cm. y a 1.80 m. de la base de 65 cm.



El diámetro y circunferencia a 1.80 medidos desde la base serán D5 y C5 respectivamente.

$$\frac{\Pi * D5}{\Pi} = \frac{C5}{\Pi} \quad \& \quad \frac{D5}{\Pi} = \frac{C5}{\Pi} = \frac{0.65}{\Pi} = \frac{0.21 \text{ m.}}{\Pi} = 21 \text{ cm.}$$

3) Diámetro en la base.

$$D4 = \frac{C5 + 1.80}{\Pi} = \frac{0.65 + 1.80}{\Pi} = \frac{0.22 \text{ m.}}{\Pi} = 22 \text{ cm.}$$

4) Primera aproximación de profundidad de empotramiento: (d)

$$d = \sqrt[3]{\frac{12 \text{ hp}}{D4(p)}} = \sqrt[3]{\frac{12(4.55)(540)}{(0.22)(6400)}} = (20.94)^{1/3} = 2.75 \text{ m.}$$

5) Afinando d:

$$d = \frac{A}{2} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{4.36h}{A} \right)^{1/2} \right]$$

$$S_1 = \frac{p d}{3} = \frac{6400 (2.75)}{3} = 5867 \text{ kg/cm}^2$$

$$\& \quad A = \frac{2.34 P}{S_1 D4} = \frac{2.34 (540)}{5867 (0.22)} = 0.98$$

de donde:

$$d = \frac{0.98}{2} \left[ 1 + \left( \frac{1 + 4.36(4.55)}{0.98} \right)^{1/2} \right] = 2.75 \text{ m.}$$

6) M en un punto a d/4 bajo la línea de tierra:

$$D3 = \frac{D4 - 0.75 d (0.021)}{\Pi} = \frac{0.22 - 0.75(2.75) (0.021)}{\Pi} = 0.206 \text{ cm.}$$

$$C3 = \Pi D3 = 0.64 \text{ m.} = 64 \text{ cm.}$$

$$M = P (h + 0.25 d) = 540 (4.55 + 0.25 * 2.75) = 2830 \text{ kg.m.}$$

$$M = 2.83 * 10^5 \text{ kg - cm.}$$

el esfuerzo de flexión:

$$fb = \frac{32 \Pi^2 M}{(C3)^3} = \frac{32 \Pi^2 (2.83 * 10^5)}{(64)^3} = 341 \text{ kg/cm}^2 > 152 \text{ kg/cm}^2$$

y el esfuerzo de flexión es mayor que el permisible.

Para un poste clase 1 de 7.60 m. el esfuerzo calculado (fb)

$$fb = 144 \text{ kg/cm}^2 < 152 \text{ kg/cm}^2$$

7) Chequeando esfuerzos de compresión:

V = volumen del poste

=  $0.2618 * L * (D1^2 + D4^2 + D1 * D4)$ , en donde todas las dimensiones son en metros y el volumen en metros cúbicos.

De acuerdo a la Tabla 4.1 para un poste de 7.60 m. clase 1:

$$D1 = \frac{69}{\Pi} = 21.96 \text{ cm.} = 0.2196 \text{ m.}$$

$$D4 = \frac{0.85 + 1.80(0.021)}{\Pi} = 0.283 \text{ m.}$$

$$D1^2 = 0.0482 \ ; \ D4^2 = 0.08 \ ; \ D1 * D4 = 0.062$$

$$V = 0.2618 (7.60) 0.19 = 0.38m^3$$

asumiendo un peso de 650 kg. por metro cúbico

$$W = 0.8 * 650 = 247 \text{ kg.}$$

carga vertical total (V)

$$V = C_v + \frac{W}{3} = 4540 + \frac{243}{3} = 4620 \text{ kg.}$$

$$D2 = C1 + \frac{0.33 H (0.021)}{\Pi} = \frac{0.69}{\Pi} + \frac{1/3 (7.60) (0.021)}{\Pi} = 0.237 \text{ m.}$$

$$\frac{L}{D2} = \frac{h}{D2} = \frac{7.60}{0.237} = 32 \ 43$$

$$F'c = \frac{0.225 E}{(L/D2)^2} = \frac{0.225 (1.12 * 10^5)}{(32)^2} = 24.61 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = \frac{P}{A1} = \frac{4620}{\Pi (D1)^2} * 4$$

$$D1 = 0.2196 \text{ m.} = 21.96 \text{ cm.}$$

$$f_c = \frac{4620}{\Pi (21.96)^2} * 4 = 12.20 \text{ kg/cm}^2 > 24.61 \text{ kg/cm}^2$$

Maderas Usadas Para Postes

En Estados Unidos las más usadas y sus características son:

	Módulo de ruptura en flexión en fibra extrema (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo permisible en flexión en fibra extrema (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Cedar Northern White	281	76	56
Cedar Western Red	422	114	70
Douglas Fir	562	152	112
Hemlock Western	520	141	98
Larch Western	591	160	105
Pine Jack	464	125	77
Pine Lodgepole	464	125	70
Pine Ponderosa	422	114	70
Pine Red or Norway	464	125	84
Pine Southern	562	152	112

TABLA 4.3

## V. POSTES DE CONCRETO Y METALICOS

Los postes de concreto se hacen en concreto reforzado y preesforzado. También se fabrican usando una combinación de ambos tipos de refuerzo.

En Guatemala hasta hoy, solamente se producen postes reforzados centrifugados con las siguientes características:

Altura (m.)	diam. punta (mm.)	diam. base (mm.)	peso aprox. (kg.)
6.00	120	210	226.80
6.00	165	255	317.52
8.00	120	240	362.88
8.00	165	285	453.60
9.00	120	255	544.32
9.00	165	300	680.40
10.60	120	279	907.19
10.60	165	324	1,088.63
12.00	120	300	1,088.63
12.00	165	345	1,224.71
15.00	165	390	1,542.23
17.50	120	383	1,859.75

Siendo todos de forma tronco cónica y sección circular hueca, la resistencia varía entre 226.80 y 317.52 kg. en su extremo superior.

Hasta hace poco no existían especificaciones para la fabricación de postes en el istmo centroamericano, por lo que el Comité Regional de Normas Eléctricas en su sexta reunión celebrada en Managua, Nicaragua, en septiembre de 1970, acordó que el experto regional elaborara un proyecto de norma a nivel regional en lo que respecta a cargas, deflexiones, factores de seguridad y métodos de prueba.

A continuación se reproduce dicho proyecto de norma:

## PROPUESTA DE NORMA CRNE-13-B

### ESPECIFICACIONES PARA POSTES DE CONCRETO

#### 1. *Generalidades:*

- a) Los postes serán de hormigón reforzado de forma tronco-cónica, hueca, fabricados por los procesos centrifugados convencional o vibrado pretensado;
- b) Los postes deben ser acabados en el color natural del concreto en toda su superficie, la cual debe estar libre de porosidades e imperfecciones originadas por deficiencias en la fabricación, tales como escoriaciones producidas por mala fluidez del concreto, burbujas originadas por mala compactación de los materiales, grietas o capilares, desprendimientos de concreto, etc.;
- c) Cada poste deberá tener las siguientes marcas legibles e imborrables, a 3 metros (10 pies) de la base:
  1. Iniciales del fabricante.
  2. Año de fabricación.
  3. Longitud total.
  4. Resistencia de diseño.

d) El fabricante debe llevar un registro estadístico de calidad de materiales y fabricación, que facilite cualquier investigación al respecto.

## 2. Dimensiones:

Se admiten postes con las siguientes tolerancias máximas:

- a) Longitud  $\pm 0.5$  por ciento;
- b) Dimensiones transversales  $+ 5$  por ciento (exteriores). Se considera inaceptable todo poste que presente una curvatura cuya flecha exceda de 0.4 por ciento de la longitud total del mismo. La flecha debe medirse con relación a la cara interna más deformada del poste.

## 3. Características de Diseño:

Además de las características especificadas en la norma de trabajo CRNE-13, los postes de concreto deberán reunir los requisitos especificados en el Cuadro 1 que se muestra a continuación. Además, el fabricante deberá suministrar los datos de los pesos aproximados de cada clase de poste.

CUADRO 1

CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LOS POSTES  
DE CONCRETO NORMALES

Longitud a/		Pendiente (cm/m)	Diámetro mínimo de la cúspide (mm)	Resistencia de diseño (míni- ma) a 30 cm. de la cúspide		Coeficiente de sobre carga b/
Metros	Pies			Kilo gramos	Libras	
6.0	20	1.5	120	160	350	2
8.0	25	1.5	120	200	440	2
8.0	25	1.5	120	200	440	2
9.0	30	1.5	120	200	440	2
9.0	30	1.5	120	300	660	2
10.0	33	1.5	120	200	440	2
10.0	33	1.5	120	300	660	2
11.0	35	1.5	120	200	440	2
11.0	35	1.5	120	300	650	2
11.0	35	1.5	120	450	1 000	2
12.0	40	1.5	120	200	440	2
12.0	40	1.5	120	300	660	2
14.0	45	1.5	120	200	440	2
14.0	45	1.5	120	300	660	2

a/ Norma de Trabajo CRNE-12 "Construcción de redes de distribución de energía eléctrica".

b/ Norma de Trabajo CRNE-10 "Criterios de diseño mecánico para redes de distribución de energía eléctrica".

#### 4. *Muestreo:*

El proveedor deberá proporcionar, sin costo alguno para la Empresa, un mínimo de 2 postes seleccionados al azar de cada 100, para efectuar las pruebas que se describen en el acápite siguiente.

#### 5. *Métodos de Prueba:*

Los postes se prueban en posición horizontal y deben quedar sujetos por medios de cuñas o mordazas para fijar rígidamente la sección de empotramiento, la cual deberá ser de una longitud igual al 10 por ciento de la longitud total del poste, más 50 centímetros.\* El tramo correspondiente a la altura útil del poste debe apoyarse sobre rodillos o cualesquiera otros dispositivos que eviten esfuerzos excesivos por fricción o flexión debidos al peso propio del poste.

La carga se aplicará a 30 cm. de la punta del poste y en dirección normal al eje longitudinal del mismo. Las deformaciones se medirán a partir de dicho eje longitudinal. También se tomarán lecturas de la elongación que se produce en una porción del poste de 1 metro de longitud, localizado medio metro arriba y medio metro abajo del centro de apoyo.

Las pruebas serán de dos clases:

- a) Prueba de trabajo;
- b) Prueba de ruptura;

---

\* Norma de trabajo CRNE-12 "Construcción de redes de distribución de energía eléctrica".

a) *Prueba de trabajo:*

- I) Se aplica una carga igual al 20% de la resistencia de diseño, y se anota la deformación producida a los 2 minutos de aplicada la carga. Se descarga lentamente y después de 5 minutos de relevada la carga, se anotan la deformación y la elongación permanentes.  
Debe prevenirse que la fricción no impida al poste su recuperación.
- II) Se carga nuevamente el poste al 20% de la resistencia de diseño, se deja actuar la carga 2 minutos y se anota la deformación. Se aumenta la carga hasta el 40% de la resistencia, y después de 2 minutos se anota la deformación correspondiente. Se descarga lentamente y después de 5 minutos se anotan la deformación y la elongación permanente.
- III) El procedimiento descrito se repite, aumentando la carga en incrementos del 20% de la resistencia de diseño, hasta llegar a 120%.
- IV) Esta prueba se considera satisfactoria si la deformación permanente, una vez relevada la carga correspondiente al 120%, es menor del 20% de la deformación máxima con carga, y si las grietas capilares que aparecen durante la prueba cierran claramente al liberar la carga y sin que se desprenda el concreto en la zona comprimida. Al mismo tiempo, la elongación permanente deber ser menor del 5 por 1000.

b) *Prueba de ruptura:*

- I) La prueba de ruptura se efectúa inmediatamente

después de haber sometido al poste a la prueba de trabajo.

- II) Se aplica una carga igual al 20% de la resistencia de diseño y se incrementa lentamente y de manera continua, anotando las cargas y deflexiones a intervalos iguales, hasta que se produzca la ruptura del poste. Se anota entonces la carga que determinó la ruptura y la deflexión máxima observada.
- III) En caso de que el poste no presente ruptura violenta, se considera que el poste ha llegado a la ruptura cuando las deflexiones en la punta sean relativamente grandes y sensiblemente no haya incremento de carga, al mismo tiempo que la elongación permanente del poste es igual o mayor a un 5 por 1000.
- IV) Esta prueba se considera satisfactoria si la carga de ruptura observada es igual o mayor que la resistencia de diseño especificada para el poste, multiplicada por el coeficiente de sobrecarga correspondiente.

#### 6. *Prueba de Calidad de los Materiales:*

Cuando la Empresa lo considere conveniente, durante el proceso de fabricación puede nombrar inspectores que tomen muestras de los materiales empleados y efectúen las pruebas de calidad correspondientes.

La Empresa se reserva el derecho de designar el o los inspectores que supervisen el proceso de fabricación y pruebas mecánicas que se incluyen como requisito para la aceptación de lotes de postes. El reporte de dichos inspectores se considera definitivo para la aceptación o rechazo de los materiales probados.

## 7. Normas Aplicables:

En todo lo que no esté expresamente indicado en estas especificaciones rige lo establecido en las normas ANSI ASTM correspondientes, además de las normas de trabajo CRNE-10, 12 y 14.

Como curiosidad se ofrecen ciertas discrepancias entre los requerimientos de la Norma CRNE-13-B detallada en las páginas interiores y los análogos del reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas de México (ROIEM) y el British Standards Institute (BSI).

### 1. Tolerancia en las dimensiones transversales:

CRNE-13-B	ROIEM	BSI
5%	3%	—

### 2. Distancia de aplicación de la carga medida desde la punta del poste:

CRNE-13-B	ROIEM	BSI
0.30 m	0.30 m	0.61 m

### 3. En la prueba de trabajo la NORMA CRNE-13-B, dice así:

“Se carga el poste en incrementos del 20% de su resistencia, anotando las deformaciones correspondientes a cada incremento después de 2 minutos de actuación de cada carga, llegando hasta el 120% de la resistencia de diseño. Se considera satisfactorio si la deformación permanente, después de 5 minutos de descargada la estructura, no es mayor del 20% de la deformación máxima observada”.

El ROIEM y el BSI coinciden en que la carga debe llegar hasta un 60% de la resistencia de diseño y que la prue-

ba es satisfactoria si la deformación permanente es menor del 10% de la deformación máxima observada.

4. La NORMA CRNE-13-B parece aplicar el párrafo anterior indistintamente para postes reforzados y preesforzados.

El ROIEM y el BSI coinciden en hacer una diferencia y para postes preesforzados dicen así:

“La carga se debe llegar hasta un 60% de la resistencia de diseño del poste y la prueba es satisfactoria si la reflexión permanente no excede del 7.5% de la deformación máxima observada”.

Como complemento se citan algunas de las especificaciones del BSI que no aparecen en la NORMA CRNE-13-B.

#### *Concreto Reforzado*

1. Las barras de refuerzo longitudinal deben ser en lo posible continuas en todo el largo del poste, pero no deben tener más de 1 traslape en cada barra sujeto a las condiciones siguientes:
  - a) Los traslapes en las distintas barras deben estar bien separados longitudinalmente;
  - b) El largo del traslape no puede ser menor de 40 veces el diámetro de la barra más delgada, a menos que sea soldado, en cuyo caso la resistencia de la soldadura no debe ser menor que la resistencia de la más pequeña de las barras en la unión.
1. En postes que estarán localizados en lugares en que exista el riesgo de impacto vehicular o de otro tipo cualquiera de golpe, debe proveerse refuerzo en barras no preesforzadas en la parte inferior del poste.

Este refuerzo debe iniciarse en un punto localizado a 2'6" (0.76 cm.) por debajo de la línea de tierra y llegar hasta donde el usuario lo solicite o en su defecto, a una distancia no menor de 6' (1.83 m.) por encima de la línea de tierra. Debe disponerse de medios efectivos para mantener este refuerzo en su lugar durante el proceso de fabricación y todos los aditamentos que se utilicen para este propósito deberán ser de material inoxidable. Este refuerzo adicional debe espaciarse por medio de refuerzo transversal, formando armaduras rígidas.

2. El diámetro del refuerzo transversal no debe ser menor de 3/16" (0.48 cm.) y el espaciamiento del mismo no mayor de 16 veces el diámetro del refuerzo longitudinal no pretensado.

A este respecto el RIOEM, dice:

"La armadura se formará ligando las varillas longitudinales por medio de anillos transversales, cuyo diámetro en general será de 0.97 cm. (3/8") y mínimo de 0.63 cm. (1/4").

Los anillos quedarán espaciados a una distancia no mayores de 15 veces el diámetro de las varillas longitudinales que ligan.

Las varillas longitudinales podrán también ser zunchadas con alambre de diámetro mínimo de 0.63 (1/4"), siendo el paso de la hélice no mayor de 15 veces el diámetro de las varillas longitudinales".

En general, tanto para postes preesforzados como reforzados, el BSI recomienda que todas las barras tengan un recubrimiento de concreto mínimo de 3/4" (2.00 cm.), excepto para postes centrifugados en los que este recubrimiento debe ser como mínimo de 1/2" (1.25 cm.).

A este respecto, el RIOEM dice que el menor recubrimiento de concreto que deben tener las varillas de refuerzo es de 1.5 cm.

#### *Condiciones de Aceptación de la Producción*

El RIOEM fija ciertas condiciones para aceptar como satisfactorios los postes producidos:

1. Debe verificarse que todos los postes del lote fabricado se ajusten en todas sus características a las del "poste tipo" correspondiente.

Deberán estar completamente limpios y se verificarán las dimensiones de acuerdo a las dimensiones nominales y las tolerancias especificadas.

Se rechazarán los postes que presenten defectos graves que disminuyan su resistencia o su duración, tales como grietas no capilares o desprendimientos de concreto. Tampoco se aceptarán aquellos que presenten defectos de fabricación o de los moldes, tales como irregularidades notables en las aristas o caras.

2. Los postes se agruparán en lotes de 100 unidades. El representante del comprador elegirá dos postes de cada lote o fracción para someterlos a la "prueba de trabajo".

Tanto la flecha en cada medida como la deformación permanente después de la liberación de las cargas de prueba no excederá del 15% del promedio de los valores correspondientes de la prueba "tipo". Si alguno de los postes no pasa la prueba satisfactoriamente, se probará en su lugar un nuevo poste y si éste falla, se considera que el lote es inaceptable.

3. Aún cuando todos los postes hayan pasado satisfactoriamente la "prueba de trabajo", se tomará además un pos-

te por cada 200 o fracción, para ser sometido a la prueba de ruptura. Si algún poste no pasa la prueba de ruptura, se tomarán cinco postes al azar del mismo lote para someterlos a la misma prueba. Con uno solo de estos cinco postes que falle la prueba, el lote se considerará inaceptable.

#### *Diseño de Postes de Concreto Reforzado*

Se hacen de concreto vibrado y concreto centrifugado. Los más comunes son los segundos, que por lo general son de forma tronco cónica y sección circular, aunque se pueden producir secciones especiales. Todos los postes de esta forma son huecos a todo lo largo de su eje longitudinal. El espesor de sus paredes y las dimensiones del diámetro exterior pueden variarse a fin de tener el diseño más liviano y económico.

El American Concrete Institute ofrece, en su publicación No. 56-52 por E. Wolman, métodos de diseño para postes de concreto reforzado y preesforzado.

Los postes son estructuras sujetas a la acción de cargas axiales y momentos flectores. Su diseño, por lo general, sólo toma en cuenta los efectos de flexión excepto cuando se trate de postes metálicos, en los que, debido al pandeo de las secciones esbeltas, las cargas axiales deben tomarse en cuenta.

Se consideran tres métodos distintos para la distribución del refuerzo en la sección:

1. El refuerzo distribuido igualmente en toda la circunferencia.
2. El refuerzo concentrado en caras o lados opuestos.
3. El refuerzo distribuido de acuerdo a una función cosenoidal.

El primero se puede usar para cualquier tipo de poste y el segundo y el tercero necesitan marcas para orientarlos correctamente al momento de instalación.

Para el desarrollo de los tres métodos antes mencionados, se usará la nomenclatura que se presenta a continuación:

D	=	diámetro exterior
t	=	espesor de paredes
r	=	radio medio
fc	=	esfuerzo de compresión permisible en concreto
fs	=	esfuerzo permisible en el refuerzo a tensión
f's	=	esfuerzo permisible en el refuerzo a compresión
Q	=	fuerza externa
P	=	fuerza total interna
Pc	=	fuerza interna concreto
Pas	=	fuerza interna del refuerzo a tensión
Pa's	=	fuerza interna del refuerzo a compresión
as	=	área de refuerzo por longitud de circunferencia
As	=	refuerzo a tensión total
A's	=	refuerzo a compresión total
At	=	suma de As y A's
n	=	relación entre el módulo de elasticidad del acero y el del concreto ( $E_s/E_c$ ).

1. Refuerzo distribuido igualmente en toda la circunferencia.

Se hacen ciertas suposiciones básicas para simplificación de fórmulas:

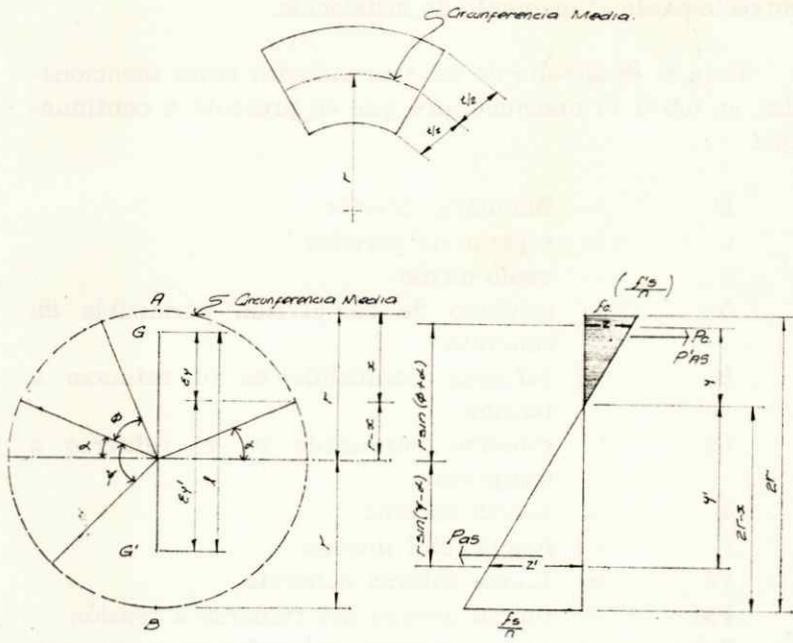


FIGURA 5.1

- a) No hay esfuerzos de tensión en el concreto;
- b) El refuerzo se localiza a la mitad del espesor de paredes (circunferencia media).
- c) El máximo esfuerzo permisible está referido a un punto en la circunferencia media y no en la fibra extrema.

De acuerdo con la figura 5.1:

$$f's = nfc, 2r = D-t$$

$$X = \frac{nfc}{nfc + fs} \quad 2r, \text{ sen } \alpha = \frac{r-X}{r}$$

el esfuerzo de compresión Z en un punto "y"

$$\frac{fc}{X} = Z = > Z = \frac{fc y}{X}$$

donde:  $y = r \text{ sen } (\phi + \alpha) - (-x)$

la fuerza total de compresión es entonces

$$P_c = \int_0^{\pi-2\alpha} z \text{ tr } d\theta \quad \} \quad \text{tr } d\theta = dA$$

$$P_c = \int_0^{\pi-2\alpha} \frac{r \text{ sen } (\theta + \alpha) - (r-x) d\theta}{x} * \text{tr } fc$$

$$= \frac{\text{tr } fc}{1 - \text{sen } \alpha} \left[ 2 \cos \alpha - \text{sen } \alpha (\pi - 2\alpha) \right] \quad (5-1)$$

Si as es el refuerzo por unidad de circunferencia, at el refuerzo total, entonces:

$$A_t = A_s + A's \quad 2 \Pi r \text{ as}$$

A's = refuerzo total a tensión  
 A\_s = refuerzo total a compresión

la fuerza total de compresión en A's es:

$$P_{A's} = \int_0^{\pi-2\alpha} \text{as } f's r \frac{r \text{ sen } (\theta + \alpha) - (r-x)}{x} d\theta$$

$$= \frac{A_t f's}{2 \Pi (1 - \text{sen } \alpha)} \left[ 2 \cos \alpha - \text{sen } (\pi - 2\alpha) \right] ; (5-3)$$

El esfuerzo de tensión en el refuerzo de un punto situado a una distancia  $y'$  debajo del eje neutro

$$Z' = fs \frac{y'}{2r-x}$$

tal que  $y' = r \sin(u - \alpha) + (r-x)$

la fuerza de tensión total sobre  $A_s$  es entonces:

$$P_{as} = \int_0^{\pi+2\alpha} asfsZ' d\theta = \frac{Afs}{2\pi(1+\sin\alpha)} [2\cos\alpha + \sin\alpha(\pi+2\alpha)]$$

la distancia de aplicación de las fuerzas  $E_y$  y  $E'y$  son respectivamente:

$$E_y = \frac{\int y dP_c}{P_c} = \frac{\int y^2 d\theta}{\int y d\theta} = \frac{\int_0^{\pi-2\alpha} [r \sin(\theta-\alpha) - (r-x)]^2 d\theta}{\int_0^{\pi-2\alpha} [r \sin(\theta+\alpha) - (r-x)] d\theta}$$

$$= \frac{r \frac{1}{2}(\pi-2\alpha) - \frac{3}{2} \sin 2\alpha + \sin^2 \alpha (\pi-2\alpha)}{2 \cos \alpha - \sin \alpha (\pi-2\alpha)} \quad (5-5)$$

$$E'y = \frac{\int y' dP_{as}}{P_{as}} = \frac{\int y'^2 d\theta}{\int y' d\theta} = \frac{\int_0^{\pi-2\alpha} [r \sin(\theta-\alpha) + (r-x)]^2 d\theta}{\int_0^{\pi+2\alpha} [r \sin(\theta-\alpha) + (r-x)] d\theta}$$

$$= \frac{r \frac{1}{2}(\pi+2\alpha) + \frac{3}{2} \sin 2\alpha + \sin^2 \alpha (\pi+2\alpha)}{2 \cos \alpha + \sin \alpha (\pi+2\alpha)} \quad (5-6)$$

El brazo de palanca de las fuerzas interiores es:

$$l = \frac{E}{y} + \frac{E'}{y} \quad (5-7)$$

Si se toman momentos respecto de los centros de aplicación de las fuerzas internas  $G$  y  $G^1$  y se hacen iguales al momento de las cargas exteriores, entonces:

$$M = Pcl + Pa'sl = Pasl \quad (5-8)$$

Ejemplo:

$$\begin{aligned} f_s &= 1680 \text{ kg/cm}^2 \\ f_c &= 84 \text{ kg/cm}^2 & f's &= 840 \\ n &= 10 \end{aligned}$$

$$x = \frac{84 (10)}{840 + 1680} \quad (2r) = \frac{2}{3}r$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{r-x}{r} = \frac{r(1-2/3)}{r} = \frac{1}{3} \Rightarrow \alpha = 19.47 - 0.34 \text{ radianes}$$

$$\Pi - 2\alpha = 2.46 \text{ (rad.)}$$

$$\Pi + 2\alpha = 3.82 \text{ (rad.)}$$

$$\text{sen } 2\alpha = 0.63$$

$$2 \cos \alpha = 1.89$$

$$\frac{1}{1 - \text{sen } \alpha} = 1.50; \quad \frac{1}{1 + \text{sen } \alpha} = 0.75$$

1. *determinar  $P_c$ :*

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{trfc}{1 - \text{sen } \alpha} \left[ 2\cos\alpha - \text{sen } \alpha (11 - 2\alpha) \right] = \frac{tr \ 84}{1/1.50} \left[ \frac{1.89 - 1}{3} (2.46) \right] \\ &= 135 \text{ tr} \end{aligned}$$

2. determinar P'as:

$$P'as = \frac{Atf's}{2\pi(1-\text{sen}\alpha)} \left[ 2 \cos\alpha - \text{sen}\alpha (\pi-2\alpha) \right] =$$

$$\frac{At 840}{2\pi/1.50} \left[ 1.89 - \frac{1}{3} (2.46) \right] = 215 Ar$$

3. determinar Pas:

$$Pas = \frac{Atfs}{2\pi(1+\text{sen}\alpha)} \left[ 2 \cos\alpha + \text{sen}(\pi+2\alpha) \right] =$$

$$\frac{At 1680}{2\pi/0.75} \left[ 1.89 + \frac{1}{3} (3.82) \right] = 634.36 At$$

4. Encontrando el punto de aplicación de las fuerzas:

$$Ey = r \frac{\frac{1}{2} (\pi + 2\alpha) + \frac{3}{2} \text{sen } 2\alpha + \text{sen}^2 \alpha (\pi - 2\alpha)}{2 \cos \alpha - \text{sen} \alpha (\pi + 2\alpha)}$$

$$r \frac{\frac{1}{2} (2.46) - \frac{3}{2} (0.63) + \frac{1}{9} (2.46)}{1.89 - \frac{1}{3} (2.46)} = 0.52 r$$

$$Ey' = r \frac{\frac{1}{2} (\pi + 2\alpha) + \frac{3}{2} \text{sen } 2\alpha + \text{sen}^2 \alpha (\pi + 2\alpha)}{2 \cos \alpha + \text{sen} (\pi + 2\alpha)}$$

$$r \frac{\frac{1}{2} (3.82) + 1.5 (0.63) + \frac{1}{9} (3.82)}{1.89 + \frac{1}{3} (3.82)} = 1.04 r$$

$$l = f = Ey + E'y = 1.56 r$$

$$M = 135 tr (1.56r) + 215 At (1.56 r) = 634 At (1.56 r)$$

$$M = 211 tr^2 + 335 Atr = 989 Atr$$

$$At = \frac{M}{989 r} = \frac{1}{3.11} tr$$

$$r = \frac{1}{17.83} \sqrt{\frac{M}{t}} \quad Y$$

Para un poste de altura libre igual a 9.14m. y sujeto a un tirón de 226.80 kg. aplicado a 0.61 m. de la punta;

$$M = 226.80 * (8.53) * 100 = 1.93 * 10^5 \text{ kg/cm.}$$

$$r = \frac{1}{17.83} \sqrt{\frac{M}{t}}$$

Si el espesor mínimo es de 5.08 cm.

$$r = \frac{1}{17.83} \sqrt{\frac{1.93 * 10^5}{5.08}} = 10.95 \text{ cm. (en el empotramiento)}$$

$$At = \frac{1}{3.11} tr = \frac{1}{3.11} (10.95) (5.08) = 17.88 \text{ cm}^2$$

y el diámetro en el empotramiento

$$D = 2r + t = 2(10.95) + 5.08 = 26.98 \text{ cm.}$$

## 2. Refuerzo concentrado en caras opuestas.

Ya que en el caso de ruptura de cables puede ocurrir en cualquiera de las dos caras, el refuerzo en puntos opuestos de la sección debería ser igual así:

$$A's = A_s = \frac{1}{2} At$$

el centro de aplicación de la fuerza total del concreto (Pc) sigue estando en el punto G de acuerdo a la figura 5.1. Los puntos (centros) de aplicación de las fuerzas en el refuerzo, P'as y Pas, se asume que coinciden con los puntos A y B de la misma figura igualando momentos y fuerzas.

$$M = P_c (2r-x+Ey) + \frac{1}{2} Atf's \quad 2r \quad (5-9)$$

Y

$$P_c + \frac{1}{2} Atf's = \frac{1}{2} Atfs \quad (5-10)$$

Si se toman los valores del ejemplo anterior:

$$M = 135 tr \frac{(4 + 0.52) r}{3} + \frac{1}{2} At \quad (840) \quad 2r$$

$$M = 135 tr \quad 1.85r) + 840 \quad Atr \quad (5-9.1)$$

$$135 tr + \frac{1}{2} At (840) = \frac{1}{2} At (1960) \quad = > \quad 135 = \quad - Y -$$

$$420 At \quad = > \quad At = \frac{1}{3.12} tr = \frac{M}{1620 r}$$

$$r = \frac{1}{22.79} \sqrt{\frac{M}{t}} \quad - Y -$$

En este caso se obtienen dimensiones y área de refuerzo requeridas que son sensiblemente menores que en el ejemplo anterior.

Debe observarse que:

- a) algún refuerzo adicional debe ponerse para soportar las cargas en otras direcciones;
- b) las cargas de viento y de tracción mecánica de los conductores debieran tratarse separadamente, ya que el poste está normalmente sujeto sólo a la acción del viento y la tracción ocurre solamente en caso de rotura de algún conductor.

### 3. Refuerzo distribuido de acuerdo a un función cosenoidal.

Es un refinamiento del primer método discutido. El desarrollo teórico de las fórmulas es un proceso largo y engorroso. Siendo más confiable establecer fórmulas con coeficientes establecidos a partir de ensayos.

Es por esto que solamente se menciona en esta tesis, dejando abierta la inquietud al lector que quisiera investigarlo.

### *Postes Preesforzados*

Los postes de concreto preesforzados están teniendo mucho auge en todas las partes del mundo. Usualmente se preesfuerzan por métodos de pretensado aunque el postensado también es usado.

La forma de los postes depende en gran parte del uso que se piense darles o de las condiciones de carga a las que vayan a estar sujetos; sin embargo, aún hay muchos diferentes criterios a este respecto.

Hay una gran gama de secciones en las que se fabrican postes preesforzados.

- a) Secciones sólidas:  
Cuadradas, rectangulares, acanaladas, secciones "I" o "Y";
- b) Secciones huecas:  
Circulares, poligonales, cuadradas, rectangulares u ovaladas;
- c) Sección de escalera:  
Secciones "I" con perforaciones en el alma (tipo celosía).

En el libro "Prestressed Concrete, Design and Construction", dice así: "Los postes que llevan líneas de alimentación tal como aquellos que se usan en ferrocarriles, se hacen preferiblemente de sección "I" o rectangulares, ya que su principal función es la de soportar cargas en una sola dirección.

Los que se usen en líneas de transmisión o para iluminación, se hacen por lo general de forma circular y octagonal, ya sean secciones sólidas o vacías".

A este respecto hay otro autor que cita:

"Al comparar las diferentes secciones transversales en postes de concreto preesforzado la sección circular hueca con el esfuerzo espaciado igualmente tiene las siguientes ventajas:

- a) Igual resistencia a cargas en diferentes direcciones que se presentan durante el almacenaje, transporte, montaje y servicio;
- b) Mayor resistencia a la torsión;
- c) Ausencia de cualquier proyección de las esquinas y bordes agudos, de tal forma que sea posible que se reduzca el riesgo de falla;

- d) Un área superficial relativamente pequeña que incrementa la resistencia a la corrosión atmosférica y prolonga la vida útil de los postes;
- e) La fabricación y colocación del refuerzo longitudinal y transversal es simple;
- f) Durante el almacenamiento, los postes curados adecuadamente no están sujetos a muchas distorsiones por la contracción o el flujo plástico.

Las secciones huecas cerradas y de paredes delgadas tienden a agrietarse longitudinalmente bajo los efectos combinados de temperatura, humedad y altos esfuerzos iniciales durante la operación del preesfuerzo.

Por otro lado a pesar de las múltiples ventajas que tienen los postes circulares, la operación de vaciado o colado puede ser muy difícil debido al problema que presenta llenar los moldes convencionales, o muy costosa al usar sistemas más sofisticados como es el caso de los postes centrifugados.

Los postes están por lo general, sujetos a cargas muy pequeñas, aunque ocasionalmente deban soportar cargas excepcionales como aquellas producidas por la rotura de uno o más conductores o la acción de vientos huracanados.

Sería antieconómico calcular el preesfuerzo para resistir este tipo de cargas tan eventual, por lo que se ha desarrollado el concepto de pre-esfuerzo "moderado". Esto es, diseñar para la carga más frecuente para la cual se ha convenido en adoptar un 25% de la máxima carga de viento. El límite menor en el grado de preesfuerzo para una sección transversal cualquiera, está determinado por la condición de que en ausencia de carga externa y después de que han tenido lugar todas las pérdidas, el esfuerzo promedio de compresión en la sección más crítica no debe ser menor de 20 Kg/cm.<sup>2</sup>

Usando un grado moderado de preesfuerzo es común

usar refuerzo ordinario (no tensionado) adicional para garantizar los requisitos de resistencia última.

#### *Diseño de Postes en Concreto Preesforzado*

El procedimiento que se detalla a continuación es una simplificación de uno propuesto por Ebasco International. Se usa para postes con refuerzo mixto; es decir, con alambres o cables de alta resistencia preesforzados y refuerzo convencional adicional.

Se asume por simplificación:

- a) El peso del poste es nulo;
- b) La sección en la que se produce momento máximo coincide con la sección de empotramiento del poste.

De hecho esto no es cierto, ya que dicha sección se localiza por debajo de la línea de tierra dependiendo la profundidad a que se encuentre de las características locales del suelo.

#### Nomenclatura:

L	=	longitud total del poste
Le	=	longitud de empotramiento
h	=	altura libre del poste
P	=	carga externa aplicada a .61 mt. de la punta
Ma	=	momento debido a carga externa
Mp	=	momento resistente por el preesfuerzo
Mr	=	momento resistente por el refuerzo
A	=	área
I	=	momento de inercia
c	=	distancia a fibra extrema
ft	=	esfuerzo de tensión
fc	=	esfuerzo de compresión
f'c	=	resistencia última del concreto

- $f_c^*$  = esfuerzo de trabajo permisible en el concreto (0.45  $f'_c$ )
- $f_y$  = resistencia última del refuerzo
- $f_s$  =  $f_y/F.S.$
- $FS$  = factor de seguridad
- $Z$  = fuerza última de diseño para cables de alta resistencia
- $Q$  = fuerza de tensado para cables de alta resistencia
- $A_s$  = área de acero de refuerzo

entonces:

$$h = L - L_e \quad Y \quad M_a = P(h-0.61) * 100 \text{ en Kg. cm.}$$

1. *Cálculo de esfuerzos:* (en sección empotramiento)

$$f_t = f_c = \frac{M_{ac}}{I}$$

$$\text{la fuerza de tensión } F_t = f_t * A = \frac{M_{ac} * A}{I}$$

el número (N) de cables necesarios para contrarrestar la tensión  $N = \frac{F_t}{Q}$  en donde N = valor entero más cercano.

2. *Chequeo de esfuerzos en la punta al soltar cables:*

$$f_c = \frac{NZ}{A \text{ punta}} * 0.9 \quad \& \quad f_c \text{ tiene que ser menor que } f_c^*$$

3. *Cálculo de  $M_p$ :*

$$\frac{M_{pc}}{I} = \frac{NQ}{A} = > \quad M_p = \frac{NQ}{A_c} \quad I \text{ para una sección cualquiera}$$

4. Cálculo de  $M_r$  &  $A_s$ :

para una sección cualquiera

$M_a = P l$  en donde "l" es la distancia desde el punto de aplicación de "P" a la sección considerada.

$M_r = M_p - M_a$  &  $M_r = A_s a d$  en donde:

$$a = f_s j, \quad j = 1 - k, \quad k = \frac{1}{1 + f_s / n f_c}$$

d = distancia del centroide del acero a la fibra extrema, entonces:  $A_s = \frac{M_r}{a d}$

Ejemplo:

Para el desarrollo de este ejemplo se usará una sección cuadrada con un vacío (hueco) circular:

el espesor mínimo de pared será de 5cm. Los datos del acero de preesfuerzo se tomaron del manual de diseño de la P.C.I. Se asume una sección mínima en la punta de 15\*15cm. y una variación lineal en las dimensiones de la sección de 1.5 cm. por metro de longitud.

Sea un poste de 16.00 m. con una carga de 300 Kg. aplicada a 0.61 m. de la punta.

$$F. S. = 2$$

$$f_y = 75,000 \text{ psi (5,280 Kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'_c = 6,000 \text{ psi (422 Kg/cm}^2\text{)}$$

para cables 7/16 — 270 k

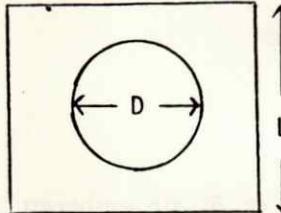
$$Z = 21,700 \text{ lb. (9,843 kg.)}$$

$$Q = 17,670 \text{ lb. (8,015 kg.)}$$

i)  $L_e = 0.10L + 0.50 = 2.10 \text{ m.}$   
 $h = 16 - 2.10 = 13.90 \text{ m.}$   
 $Ma = 300 (13.90 - 0.61) * 100 = 398,700 \text{ Kg. cm.}$   
 (en empotramiento)

determinando las propiedades de la sección:

a) *Sección de punta:*



$L = 15 \text{ cm.}$   
 $D = 5 \text{ cm.}$   
 $A = \frac{15^2 - \Pi(5)^2}{4} = 205.36 \text{ cm.}^2$   
 $I = \frac{15^4 - \Pi(5)^4}{12 - 64} = 4,188.07 \text{ cm.}^4$

b) *Sección en el empotramiento:*

$L = 15 + 1.5(13.90) = 35.85 \text{ cm.}$   
 $D = 35.85 - 10 = 25.85 \text{ cm.}$   
 $A = \frac{(35.85)^2 - \Pi(25.85)^2}{4} = 760.40 \text{ cm.}^2$

$I = \frac{(35.85)^4 - \Pi(25.85)^4}{12 - 64} = 115,731.18 \text{ cm.}^4$

c) *Sección en la base:*

$L = 15 + 1.5(16) = 39 \text{ cm.}$   
 $D = 39 - 10 = 29 \text{ cm.}$

$A = \frac{(39)^2 - \Pi(29)^2}{4} = 860.48 \text{ cm.}^2$

$I = \frac{(39)^4 - \Pi(29)^4}{12 - 64} = 158,068.17 \text{ cm.}^4$

esfuerzos:

en empotramiento

$$f_t = f_c = \frac{MaC}{I} = \frac{398,700 (35.85)}{115,371.18} = 61.75 \text{ kg./cm.}^2$$

número de cables:

$$f_t = 61.75 * 760.40 = 46,956.65 \text{ Kg.}$$

$$Q = 8,015 \text{ Kg.}$$

$$N = \frac{F_t}{Q} = 5.86$$

El número entero más cercano es 6; sin embargo, se adoptará  $N = 4$  para que exista simetría en la colocación de cables y las secciones estén uniformemente pre-esforzadas.

Esfuerzo en la punta:

$$f_c = \frac{4 * 9,843 * 0.9}{205.36} = 172.55 \text{ \& } f^*c = 0.45(422) = 189.90 \text{ kg/cm.}^2$$

$$M_p = \frac{NQ}{Ac} = \frac{4(8,015)}{Ac} = \frac{32,060}{Ac}$$

A continuación se tabulan el momento actuante y el momento resistente en varios puntos sobre el eje longitudinal del poste, con el objeto de poder determinar hasta dónde y en qué cantidad es necesario proveer a la sección con esfuerzo adicional.

$$A = 0.2146 L^2 + 15.71 L - 78.54$$

$$L = 39 - 1.5 X \text{ (medido desde la base)}$$

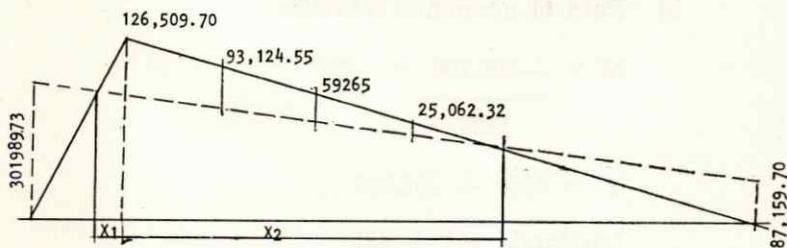
$$C = L/2$$

X Mts.	L Cm.	C Cm.	A Cm. <sup>2</sup>	I Cm. <sup>4</sup>	Mp Kg - cm
0	39.00	19.500	860.56	158,068.17	301,989.73
2.10	35.85	17.925	760.47	115,731.18	272,190.30
4.20	32.70	16.350	664.65	82,247.89	242,575.45
6.30	29.55	14.775	573.08	56,369.59	213,435.00
8.40	26.40	13.200	485.17	36,928.48	184,637.68
10.50	23.25	11.625	402.72	22,837.67	156,393.66
12.60	20.10	10.050	323.93	13,091.20	128,921.62
14.70	16.95	8.475	249.40	6,764.04	102,596.58
16.00	15.00	7.500	205.40	4,188.07	87,159.70

Momento Actuante (Ma)

X mts.	Ma Kg. - cm.
0	0
2.10	398,700
4.20	335,700
6.30	272,700
8.40	209,700
10.50	146,700
12.60	83,700
14.70	20,700
16.00	0

Diagrama de Momento



Determinando  $X_1$  y  $X_2$

1. Para  $X_1$  (origen en línea de empotramiento)

a) Preesfuerzo:

$$m = \frac{301,989.73 - 37,159.70}{1600} = 134.27$$

$$Y = mx + b$$

$$y = 134.27x + 272,190.30 \quad (1)$$

b) Para momento actuante:

$$m = \frac{398,700}{210} = 1,898.57$$

$$Y = 1,898.57x + 398,700 \quad (2)$$

$$-134.27x + 272,190.30 = 1,898.57x + 398,700$$

$$X = 62.23 \text{ cm. a partir del empotramiento, o sea}$$

$$1.48 \text{ m. a partir de la base}$$

2. Para  $X_2$  (origen en empotramiento)

a) Para preesfuerzo:

$$Y = 134.27x + 272,190.30 \quad (1)$$

b) Para el momento actuante

$$M = \frac{-398,700}{1329} = -300$$

$$Y = 300x + 398,700$$

Igualando (1) & (2)

$$-134.27x + 272,190.30 = -300x + 398,700$$

X = 763.35 cm. a partir del empotramiento o

9.73 m. a partir de la base

*Determinación del As:*

$$As = \frac{M}{ad} \quad \& \quad a = fsj$$

$$fs = 2640 \text{ Kg/cm}^2$$

$$j = 1 - k \quad \& \quad k = \frac{1}{1 + fs/nfc} + -n = 7 \text{ K} = 0.335$$

$$j = \frac{1 - 0.335}{3} = 0.888$$

$$a = 2640j = 2345$$

$$As = \frac{M}{2345 d}$$

Asumiendo un recubrimiento de 1.5" (3.81 cm.) y usando refuerzo de 10 mm. de diámetro.

$$As\phi = 0.785 \text{ cm}^2$$

X m.	M kg. cm.	L cm.	d L-3.81	As cm <sup>2</sup>
1.48	0			
2.10	126,509.70	35.85	32.04	1.68
4.20	93,124.55	32.70	28.89	1.37
6.30	59,265.00	29.55	25.74	0.98
8.40	25,062.32	26.40	22.59	0.47
9.73	0			

## VI. FABRICACION

Después de tener los diseños preliminares, debe en lo posible, recurrirse a una serie de ensayos antes de iniciar la fabricación en serie.

El objeto de tales pruebas no es más que afinar los diseños iniciales. Al optimizar el diseño y fijar así la solución más económica para una situación particular, no debe haber la menor duda que la inversión en esfuerzo y tiempo que tenga que hacer para la realización de estos ensayos, estará más que compensada por los beneficios y economías que se obtengan como resultado de una producción posterior en serie. Los ensayos se justifican siempre y cuando el número total a producir no sea uno ni dos, salvo que se haga por puro afán de investigación.

Debe verse también que al fabricar ejemplares de prueba se está adiestrando al personal en lo que será el proceso posterior y se puede así pulir los defectos que aparezcan en cada una de las etapas de la producción.

Básicamente puede pensarse en un ciclo como el que se enumera a continuación:

- a) Limpieza y preparación de moldes (formaleta);
- b) Colocación del refuerzo (cables de pre-esfuerzo más refuerzo ord.);
- c) Colado del concreto;

- d) Curado;
- e) Remoción de moldes;
- f) Almacenaje.

Dependiendo de cada situación particular, convendrá tener personal especializado para cada una de las fases o etapas, o por el contrario, será más favorable tener personal que sea intercambiable.

Preferentemente deberá tratar de producirse artículos que no difieran mucho en geometría para evitar pérdida de tiempo en hacer las modificaciones a los moldes.

En la producción de postes centrifugados se necesita equipo bastante especializado y caro. El refuerzo se fabrica en jaulas o canastas que no son más que anillos espaciados regularmente a los que se agarran las barras longitudinales. Se acostumbra poner sobre el refuerzo longitudinal una o más espirales hechas de alambre de alta resistencia en toda la longitud del poste. Se usan espaciadores de material inoxidable para fijar la posición de la canasta en el molde y garantizar así el recubrimiento mínimo requerido.

La canasta una vez terminada se pone en el molde. Se echa una cantidad predeterminada de concreto al mismo y se cierra. Se coloca el molde sobre rodillos y se le hace girar de 10 a 15 minutos a velocidades que van de 80 a 750 r.p.m. A estas velocidades el concreto se compacta por centrifugación, resultando un concreto sin porosidad de altas resistencias.

La porción de agua de la bachada que no fue requerida para hidratar el cemento sale expulsada por el corredor que se forma cuando el concreto se pega a las paredes del molde.

Después del período de centrifugación el molde se transfiere a una unidad de curado a vapor durante una o dos horas y luego se puede extraer el poste del molde. Un cu-

rado final consiste de un período pequeño de almacenaje bajo techo seguido de otro período de almacenaje al aire libre.

También hay moldes especiales para producir postes centrifugados preesforzados.

Los postes preesforzados se producen en una gran gama de secciones.

Los moldes se hacen por lo general de lámina lo suficientemente rígida como para no deformarse bajo la tracción de los cables ni bajo la acción del vibrado mecánico que hay que proveer durante el colado del concreto.

Las camas son por lo general bastante largas, lo que permite preparar varias unidades con una sola operación de tensado de cables.

Los cables se tensan por medio de gatos hidráulicos. La carga de tensado inicial viene especificada por el fabricante de cable y ésta se chequea por medio de un manómetro adaptado al jack. Para evitar errores, como malas lecturas o mala calibración del manómetro, que pudieran provocar la rotura de un cable, se exige que además se mida la elongación real del cable para compararla con la especificada por el fabricante para dicha tensión inicial.

Los cables una vez tensados se fijan a las placas de anclaje por medio de cuñas especiales.

A partir de este punto se procede a poner el refuerzo adicional si lo hubiera y al colado del concreto.

Los cables se liberan después de que el concreto ha alcanzado cierto grado de resistencia para poder resistir al tirón de los cables. Este varía en los diferentes códigos aunque generalmente su valor es del 65% de la resistencia última del concreto. El curado también se hace a vapor para poder obtener altas resistencias en poco tiempo y así tener rápidamente los moldes disponibles de nuevo.



## VII. RECOMENDACIONES

Los postes por lo general llevan agujeros que sirven para colocar todo el equipo y accesorios que irán sobre los mismos al estar en servicio.

Los principales consumidores de postes en Guatemala son:

- a) Empresa Eléctrica;
- b) INDE;
- c) GUATEL.

Los tres usan postes en una gran variedad de tamaños y para cada tamaño, cada empresa especifica cierta cantidad y posición de agujeros.

De allí que para cada una de estas instituciones haya un gran número de perforaciones distintas.

Es probablemente esta diversidad de agujeros el problema más grande que enfrenta el fabricante de postes, pues lo obliga a modificar constantemente los moldes para poder lograr la combinación de perforaciones correcta para cada tipo de poste que se produzca.

El problema se agudiza al considerar que no se trata de un solo usuario sino de tres, cada cual con su gama de perforaciones propia.

Para ilustrar lo anterior se han elaborado las gráficas que siguen.

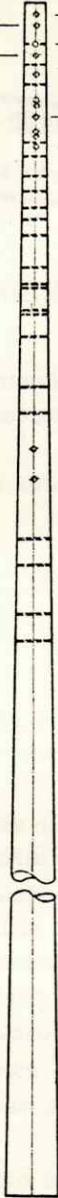
COMUNES PARA POSTES DE 40', 35', 30' y 25'.

COMUN PARA POSTES DE 40', 35' y 30'.

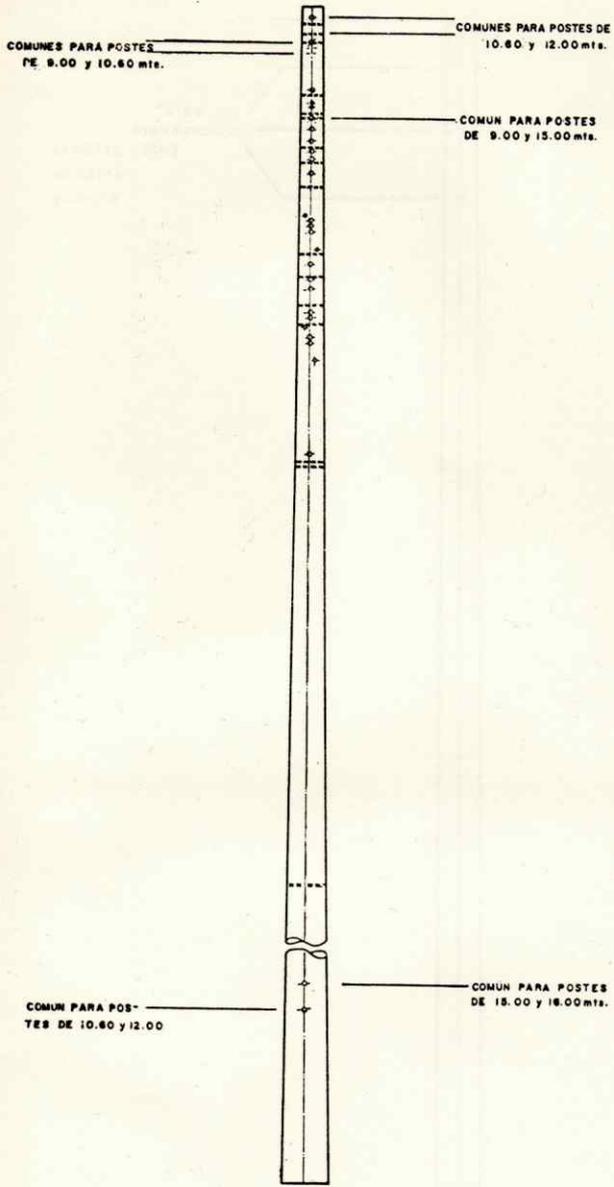
COMUNES PARA POSTES DE 45', 40', 35', 30' y 25'.

COMUN PARA POSTES DE 50' y 45'.

COMUN PARA POSTES DE 35' y 40'.



E E G S A



I N D E



Ø 3/4"  
COMUNES PARA  
TIPOS: 8/500 Kg  
8/120 Kg  
9/120 Kg

GUATEL

Hay un gráfico por cada empresa. En cada uno se ha dibujado la figura de un poste sobre la cual se han localizado, en distancias medidas desde la punta, los agujeros de todos y cada uno de los tipos de postes de la empresa de que se trate.

Deberá tratarse sin duda alguna, de lograr usar un mínimo de perforaciones y hacerlas estandar para todos los usuarios lo que facilitará la tarea de fabricación.

Por lo tanto, se recomienda que una comisión integrada por representantes de las tres empresas trate de solucionar el problema y proponer la solución como norma para el área centroamericana.

La norma CRNE-13-B valdría la pena revisarla en varios aspectos:

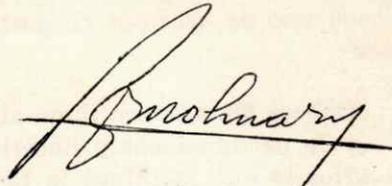
En lo que respecta a las características de la sección transversal, la norma dice que los postes serán de sección tronco cónica hueca descartando arbitrariamente todas las demás secciones que pudieran fabricarse.

En lo que respecta a los métodos de prueba debería investigarse si es correcto hacer una distinción entre los postes reforzados y preesforzados, tal como se menciona en la página 48 de esta tesis.

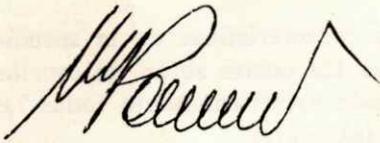
Por último la norma no ofrece especificaciones con respecto al acero que irá en los postes, tal como diámetros mínimos, recubrimientos, traslapes, etc. que son aspectos de mucho interés.

V° B°

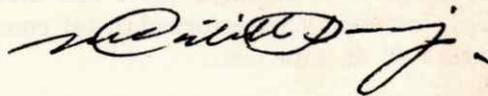
Imprimase



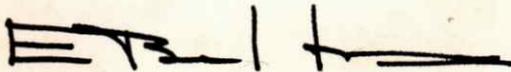
Decano



Asesor



Director Escuela Ingeniería  
Civil



Director del C.I.I.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Roadway Lighting Research.  
Neilon J. Rowan & Ned E. Walton  
Texas Transportation Researcher  
Julio, 1967
2. How to Shoose the Right Light Pole.  
Robert Mulvany  
The American City, 1970
3. Wood Handbook  
U. S. Department of Agriculture
4. Wood Engineering  
German Gurfinkel  
Southern Forest Products Ass.
5. Timber Construction Manual.
6. Contribución Civil al Proyecto de Líneas de Transmisión en Electri-  
ficación Rural.  
Carlos Leonel Aldana G.  
1973
7. Construcción de Líneas Eléctricas.  
Amadeo García Zepeda
8. Especificaciones de Postes de Concreto — Acero.  
Comisión Fed. de Eleatricidad  
México, 1964
9. Specification for Concrete Poles.  
British Standards Institution  
1960

10. Utility poles of Reinforced Pipe.  
E. Wolman  
Journal of A.C.I.  
Abril, 1960
11. Informe General sobre Postes de Concreto Preesforzado.  
S. Dmitriev  
Revista IMCYC, Vol. 7, No. 39
12. Comportamiento de Postes de Concreto Preesforzado.  
Clemente Quán Lee  
México, 1966  
Tesis Ing. Civil UNAM
13. Degradation of Wood.  
U. S. Department of Agriculture  
1974
14. Prestressed Concrete & Construction.  
Lenhardt, I.
15. La Manufactura en México de Tuberías y Postes de Concreto Pro-  
esforzado.  
R. J. Swetzer  
Junta Regional — ACI —  
México
16. Prestressed Concrete Conductor Masts in South Africa.  
S. Macerata  
Revista Concrete
17. Prestressed Concrete Poles for Distribution Systems.  
Ebasco Intl. Corp.  
1959
18. Algunos Comentarios sobre el Diseño y la Fabricación de Postes  
Preesforzados.  
Publicación IMCYC — 1963
19. Specification for Prestressed Concrete Poles.  
Florida Light & Power Co. — 1973
20. Centrifugally Cast Concrete Poles.  
Engineering Bulletin No. 6501  
B. North America Ltd.