



NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



GENERAL
E/CEPAL/CCE/SC.5/111
Julio de 1976

ORIGINAL: ESPAÑOL

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA
COMITE DE COOPERACION ECONOMICA DEL
ISTMO CENTROAMERICANO
SUBCOMITE CENTROAMERICANO DE ELECTRIFICACION
Y RECURSOS HIDRAULICOS



MANUAL DE NORMAS
ELECTRICAS PARA EL
ISTMO CENTROAMERICANO

Volumen II

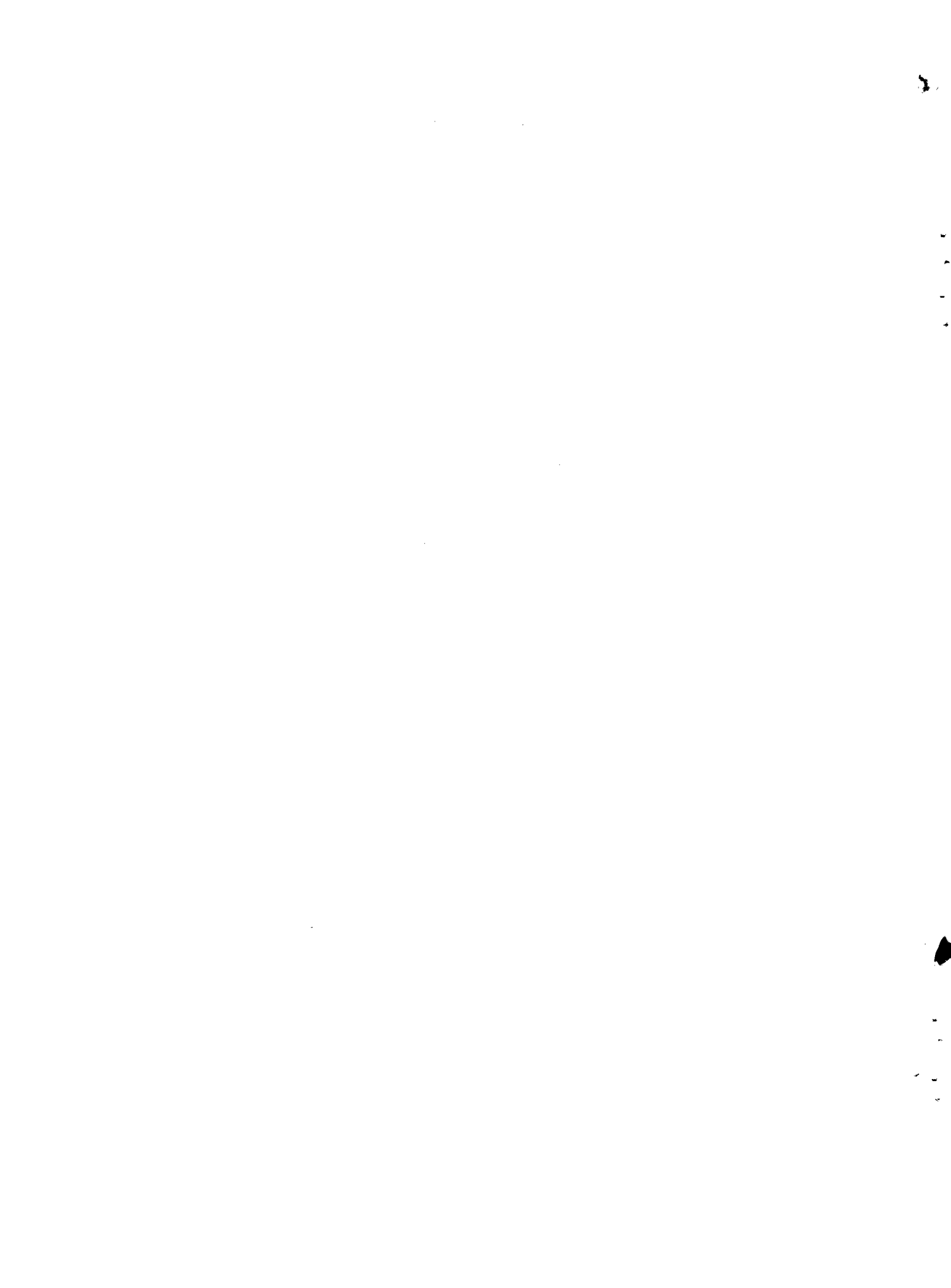
(CRNE-10-II-15-16 y 23)



MANUAL DE NORMAS ELECTRICAS PARA EL ISTMO CENTROAMERICANO

Volumen II

(CRNE-10-II-15-16 y 23)



Presentación

El Comité Regional de Normas Eléctricas (CRNE) fue creado por el Subcomité Centroamericano de Electrificación y Recursos Hidráulicos 1/ con el objeto de establecer criterios uniformes de diseño y construcción para sistemas de transmisión y distribución, así como normas y especificaciones sobre materiales y equipo que se utilizan en la industria eléctrica del Istmo Centroamericano. Dicho Comité estuvo integrado por las principales empresas eléctricas de la región agrupadas en comités nacionales y por la División de Normas del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI).

Durante el transcurso de sus primeras ocho reuniones celebradas entre 1968 y 1972 el CRNE aprobó 23 normas de trabajo elaboradas por un experto regional, financiado por las empresas miembros del CRNE. Las labores de secretaría y de apoyo técnico-administrativo estuvieron a cargo de la Subsección en México de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

El presente documento ha sido elaborado a solicitud de los seis países del Istmo Centroamericano con miras a promover la amplia difusión y consecuente utilización de las normas aludidas. Para facilitar su manejo se ha dividido en cuatro volúmenes como sigue: el primero agrupa las normas que se refieren a definiciones, unidades, terminología, simbología y diversas características de los sistemas eléctricos (CRNE-1 a 4 y CRNE-6 a 9); el segundo comprende los criterios de diseño para los sistemas de distribución, subtransmisión y transmisión eléctrica (CRNE-10, 11, 15, 16 y 23); el tercero incluye las especificaciones de equipos y materiales utilizados en sistemas de transporte y distribución de electricidad (CRNE-13, 13A, 13B, 14 y 17 a 22), y el último contiene la nomenclatura de equipos y materiales, así como las prácticas de construcción para redes de distribución de energía eléctrica (CRNE-5 y 12).

1/ Resolución (SC. 5) del 9 de septiembre de 1966.



NORMAS ELECTRICAS

		Volumen
CRNE-1	Tensiones eléctricas, frecuencia y sistemas de distribución	I
CRNE-2	Definición de unidades eléctricas de medida y vocablos técnicos relacionados con ellas	I
CRNE-3	Terminología y definiciones utilizadas en generación transmisión, distribución y consumo de la energía eléctrica	I
CRNE-4	Símbolos usados en planos y diagramas eléctricos	I
CRNE-5	Nomenclatura de materiales y equipos para obras de distribución	IV
CRNE-6	Límites, variaciones y caídas de voltaje permisibles en líneas de distribución de energía eléctrica	I
CRNE-7	Transformadores de distribución	I
CRNE-8	Niveles de aislamiento en líneas de distribución de energía eléctrica	I
CRNE-9	Calibres y materiales de conductores para sistemas de distribución y acometidas	I
CRNE-10	Criterios de diseño mecánico para redes de distribución de energía eléctrica	II
CRNE-11	Criterios de diseño eléctrico para redes de distribución de energía eléctrica	II
CRNE-12	Construcción de redes de distribución de energía eléctrica	IV
CRNE-13	Especificaciones de equipos y materiales para redes de distribución de energía eléctrica	III
CRNE-13A	Tratamiento para postes y crucetas de madera mediante sales de cobre	III
CRNE-13B	Especificaciones para postes de concreto	III
CRNE-14	Equipo de regulación de voltaje para sistemas de distribución	III

		Volumen
CRNE-15	Criterios de diseño eléctrico para redes de sub-transmisión y transmisión de energía eléctrica	II
CRNE-16	Criterios de diseño mecánico para redes de sub-transmisión y transmisión de energía eléctrica	II
CRNE-17	Transformadores de potencia	III
CRNE-18	Transformadores de corriente	III
CRNE-19	Transformadores de potencial	III
CRNE-20	Cortacircuitos fusibles de potencia	III
CRNE-21	Pararrayos	III
CRNE-22	Disyuntores de potencia	III
CRNE-23	Criterios de diseño y especificaciones de equipo y materiales para el alumbrado eléctrico	II

NORMA DE TRABAJO CRNE-10
CRITERIOS DE DISEÑO MECANICO PARA REDES DE
DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA



I. RESISTENCIA MECANICA

Las líneas aéreas, ya sean suministradoras o de comunicación, deberán tener resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas a que puedan estar sometidas y que razonablemente puedan anticiparse, con factores de seguridad que podrán variar según el lugar y las condiciones de peligro en que se encuentren como se establece más adelante.

Se recomienda que en aquellas regiones del Istmo en que las líneas puedan llegar a estar sometidas a esfuerzos más severos que los que se calculan sobre las bases señaladas más adelante, ya sea porque se cubran de hielo, porque la temperatura baje de 10^o C, o porque el viento sople con más fuerza, las instalaciones se hagan tomando en cuenta estos factores.

Bases para el cálculo de las cargas

a) Cargas de conductores

Para calcular la tensión mecánica de los conductores, se considerará como la carga total, la resultante del peso del conductor y de la fuerza producida por el viento, actuando horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea, a la temperatura mínima, de acuerdo con las bases siguientes:

i) Velocidad del viento. En el Istmo Centroamericano existirán tres zonas de carga, en las cuales se calculará la presión ejercida por el viento como la correspondiente a una velocidad no menor de las que se indican a continuación en kilómetros por hora: Zona 1, 65; Zona 2, 90; Zona 3, 120.

ii) Temperaturas mínima y máxima. En el Istmo Centroamericano existirán dos zonas de temperaturas, en las cuales se supondrá que los conductores estarán sometidos a las siguientes temperaturas mínimas y máximas: Zona 1, mínima 10^oC, máxima 50^oC; Zona 2, mínima -10^oC, máxima 40^oC. La zona 2 se ha incluido principalmente para las regiones altas en el norte del Istmo.

b) Cargas en postes o estructuras de soporte

La carga que actúe sobre los postes o estructuras de soporte y sobre todo el material usado para sostener los conductores, se calculará como sigue:

i) Carga vertical. La carga vertical sobre postes, torres, cimientos, crucetas, espigas, aisladores y dispositivos de sujeción se considerará como su propio peso más el de todos los conductores, cables y equipo que soporten, teniendo en cuenta los efectos que pueden resultar de diferencia de elevación entre soportes de conductores de estructuras inmediatas. Cuando el poste o estructura de soporte esté anclado, se tomará en cuenta la componente vertical de la tensión a que esté sometido el anclaje.

ii) Carga transversal. La debida al viento soplando horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea, como sigue: para todas las superficies cilíndricas del poste o estructura y conductores soportados, se considerará la presión de viento correspondiente a las velocidades establecidas en el punto 1-a-i) para la zona que corresponde, y de acuerdo con el tipo de estructura.

La carga transversal sobre cualquier poste o estructura podrá calcularse usando el promedio de los vanos, siempre que este promedio no difiera en más del 25 por ciento de los vanos a un lado y otro del poste o estructura de que se trate.

En cruzamiento con ferrocarriles, con carreteras principales o con conductores de comunicación, la carga transversal sobre el poste o estructura deberá calcularse considerando la distancia interpostal real.

iii) Carga longitudinal

1. Tramos rectos de línea. En general, no es necesario considerar carga longitudinal en los postes o estructuras comprendidos 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.

Se exceptúa el caso en que al final de una sección de la línea con construcción de clase A (véase más adelante la clasificación de construcción según resistencia mecánica) la línea cambia a otra clase inferior, como puede

sucedan en cruzamientos con ferrocarriles. En este caso, se considerará un esfuerzo longitudinal desequilibrado mínimo, en la dirección de la clase A, sobre postes y retenidas, igual a la tensión en las condiciones de carga especificadas en el inciso a), de las dos terceras partes de los conductores soportados más delgados que el número 2 AWG, escogiendo los conductores que produzcan los mayores esfuerzos sobre las estructuras.

Si las dos terceras partes dan un número fraccionario, se tomará el entero más próximo. El esfuerzo longitudinal mencionado no deberá ser menor que el producido por la tensión de dos de los conductores soportados, incluyendo hilos de guarda y mensajeros, en la combinación más desfavorable.

2. Remates. En los remates, la carga longitudinal se considerará igual a la suma de las fracciones máximas de trabajo de todos los conductores que rematen en el poste o estructura, incluyendo hilos de guarda y mensajeros.

iv) Cambio de dirección de la línea. La carga debida a la tensión de los conductores y al viento, en los postes o estructuras de soporte y sus retenidas, instalados donde la línea cambie de dirección, se considerará igual a la resultante de las tensiones de los conductores originadas por el cambio de dirección de la línea, sumándole aritméticamente a esta resultante la fuerza del viento calculada como si la línea fuera recta. Puede usarse un método de cálculo más exacto.

v) Aplicación simultánea de cargas.

1) Al calcular la resistencia a las fuerzas transversales, se supondrá que las cargas vertical y transversal actúan simultáneamente.

2) Al calcular la resistencia a las fuerzas longitudinales para la aplicación de retenidas, no se tomarán en cuenta las cargas vertical y transversal.

3) En casos en que sea necesario, deberá hacerse un análisis de resistencia tomando en cuenta la aplicación simultánea de las cargas vertical, transversal y longitudinal.

II. CLASES DE CONSTRUCCION SEGUN RESISTENCIA MECANICA

1. Clasificación de construcción

Con el objeto de establecer los coeficientes de seguridad y otros requisitos que las redes deben cumplir en diferentes lugares y condiciones que representen peligro para personas, sus intereses u otras redes, como en cruzamientos, campo abierto, etc., tanto las líneas aéreas suministradoras como las de comunicación se dividirán, en cuanto a su construcción, en dos clases que se denominan por las letras A y B.

La clase A es la más fuerte y la que llena los requisitos más exigentes, que se consideran necesarios en los casos de mayor peligro. La clase B es menos fuerte que la A; pero llena ciertos requisitos que se estiman necesarios en algunos lugares o condiciones en que el peligro es menor que en los considerados para la clase A.

El artículo siguiente especifica detalladamente los requisitos que debe cumplir cada clase. El capítulo III señala los lugares y condiciones en que deberán usarse las líneas de cada clase.

2. Requisitos mínimos para cada clase de construcción de línea

En el cuadro 1 comprendido en este capítulo, se especifican los coeficientes mínimos de seguridad y otros requisitos mínimos que deberá cumplir cada clase de construcción de líneas aéreas, tanto suministradoras como de comunicación.

En cruzamientos sobre vías férreas, las líneas de la clase A deberán cumplir, además, con los requisitos adicionales del artículo 3.

Al calcular los esfuerzos a que esté sometido un poste o estructura de soporte y todos sus accesorios, no se deberán tomar en consideración las deformaciones causadas por la aplicación de las cargas, a menos que el método de cálculo haya sido previamente aprobado por el organismo nacional competente.

Cuadro 1

REQUISITOS MINIMOS PARA CADA CLASE DE CONSTRUCCION DE LINEAS AEREAS

	CLASE A	CLASE B
CONDUCTORES SUMINISTRADORES EN LINEA ABIERTA (Incluye hilos de guarda)		
<u>Tracción</u>		
Coeficiente de seguridad mínimo calculado como el cociente entre la resistencia última de los conductores y la carga máxima de trabajo según las condiciones especificadas en el inciso I-a.	1.7	1.7
<u>Material para conductores</u>		
Deberá ser resistente a la corrosión bajo las condiciones de operación	SI	SI
<u>Empalmes</u>		
Se recomienda no hacerlos en cruzamientos. Todos los empalmes deben tener la resistencia mecánica mayor que la requerida para el conductor	SI	SI
CONDUCTORES SUMINISTRADORES EN CABLE		
Si el cable lleva forro metálico conectarlo al mensajero y a tierra, estableciendo continuidad eléctrica	SI	SI
CABLE MENSAJERO		
<u>Tracción</u>		
Coeficiente de seguridad mínimo calculado como el cociente entre la resistencia última del cable y las cargas especificadas en el punto I-a), más el peso adicional que soporte	1.7	1.7
<u>Definiciones:</u> Coeficiente de seguridad: Se define como el cociente entre la resistencia última (madera, cables y conductores, hilos de guarda) o la resistencia en el límite de fluencia (acero o aluminio) y la carga máxima de trabajo. Coeficiente de sobrecarga: Se define como el cociente entre la carga máxima aplicable a una estructura sin que ninguno de sus componentes sufra deformaciones permanentes, y la carga máxima de trabajo.		

	CLASE A	CLASE B
<u>Material</u>		
Resistente a corrosión	SI	SI
Deberá estar conectado a tierra en forma efectiva	SI	SI
CONDUCTORES DE COMUNICACION EN LINEA ABIERTA EN APOYOS COMUNES CON LINEAS SUMINISTRADORAS		
<u>Tracción</u>		
Coeficiente de seguridad mínimo calculado como el cociente entre la resistencia última de los conductores y la carga máxima de trabajo según las condiciones especificadas en el inciso I-a	1.7	1.7
<u>Material para conductores</u>		
Deberá ser resistente a corrosión bajo las condiciones de operación	SI	SI
<u>Empalmes</u>		
Se recomienda no hacerlos en cruzamientos. Su resistencia mecánica debe ser mayor que la del conductor, en el punto considerado	SI	SI
CONDUCTORES DE COMUNICACION EN CABLE		
Se le aplicará lo estipulado para conductores suministradores en cable	SI	SI
MENSAJERO		
Será de acero trenzado galvanizado y tendrá una resistencia de rotura, en kg., en cruzamientos con vanos no mayores de 50 metros, cuando soporta cables de:		
Menos de 3.5 kg por metro	2 700	
3.5 a 7.5 kg por metro	4 500	
7.5 a 12.5 kg por metro	7 200	

	CLASE A	CLASE B
ESPIGAS, AMARRES Y HERRAJES PARA FIJAR CONDUCTORES		

En general la carga máxima de tracción desbalanceada del conductor, aplicada a una sola espiga, no debe ser mayor que (en kg)

	225	225
--	-----	-----

En remates y en lugares donde la Clase A cambie a Clase B deberán poder resistir la tracción del conductor en las condiciones especificadas en el punto I-a), con un coeficiente de seguridad de

	2.5	2.5
--	-----	-----

Cuando se usen aisladores tipo espiga y la tracción del conductor esté comprendida entre 225 y 450 kg, deberán usarse aisladores y amarres dobles

	SI	SI
--	----	----

CRUCETAS

Resistencia vertical

Al instalarse deberán tener un coeficiente de seguridad basado en su resistencia última para la madera y en el punto de fluencia para el acero con la carga especificada en el punto I-b y 100 kg temporales adicionales en cualquiera de los extremos de cualquiera de las crucetas no menor de:

Madera

condición temporal	2.0	2.0
condición permanente	4.0	4.0

Acero

condición temporal	1.3	1.3
condición permanente	1.7	1.7

Para cumplir con la disposición anterior y para soportar cargas no llevadas normalmente por la cruceta, podrán usarse puntales u otros dispositivos adecuados

	SI	SI
--	----	----

Cuando las crucetas formen parte integrante de estructuras de soporte metálicas, aplíquese el coeficiente de seguridad que corresponda a las estructuras

	SI	SI
--	----	----

	CLASE A	CLASE B
<u>Resistencia longitudinal</u>		
<p>Cuando la tracción de los conductores sea normalmente equilibrada, la cruceta deberá poder resistir una tensión del conductor más alejado del centro, en kg no menor de</p>	225	225
<p>En remates y puntos donde la clase de construcción (A) cambie a Clase B, las crucetas deberán poder resistir la tracción desequilibrada de todos los conductores soportados, en las condiciones de carga especificadas en el punto I-a), con los coeficientes de seguridad siguientes:</p>		
Cruceta de madera (basado en resistencia última)	4	4
Crucetas de acero (basado en límites de fluencia)	1.7	1.3
<u>Crucetas dobles</u>		
Deberán usarse en remates y en postes de cruzamientos sobre ferrocarriles y carreteras principales	SI	SI

POSTES Y ESTRUCTURAS

Los postes y estructuras deberán resistir las cargas especificadas en el punto I-b) con los coeficientes de seguridad que se indican a continuación y además cumplirán con las disposiciones adicionales que se señalan en cada caso. Cuando los postes estén sujetos a deformación considerable en la dirección de la línea, será necesario aumentar las separaciones normales especificadas en el capítulo IV, más adelante, o instalar retenidas o refuerzos especiales para evitar tal deformación.

Postes de concreto

Nota: Los siguientes criterios son tentativos, sujetos a revisión durante la VI reunión del CRNE.

Resistencia

Los postes de concreto deben soportar sin deformación permanente las cargas máximas calculadas según el inciso I-b) multiplicadas por los coeficientes de sobrecarga que se indican a continuación.

/Resistencia

	CLASE A	CLASE B
Resistencia vertical	2.0	1.5
Resistencia transversal (viento)	2.0	1.5
Resistencia longitudinal en cambios de clase A a B y en remates	2.0	1.5

Nota: En postes de remate se aplicarán independientes de las cargas verticales y transversales. En cambios de clase se tomará el efecto combinado de los tres tipos de carga.

Resistencia en ángulos

La resistencia del poste será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal (viento) con un factor de sobrecarga de 2.0 y la carga resultante del cambio de dirección de conductores con un factor de sobrecarga de 1.5

Postes y estructuras de acero o aluminio

Resistencia

Los postes y estructuras deberán soportar sin deformación permanente las cargas máximas calculadas según el inciso I-b) multiplicadas por los coeficientes de sobrecarga que se indican a continuación:

Resistencia vertical	1.3	1.1
Resistencia transversal (viento)	2.5	1.6
Resistencia longitudinal:		
En cambios de clase A a B y en remates	1.7	1.1

(Nota: En postes y estructuras de remates se aplicará independiente de las cargas verticales y transversales. En cambio de clase se tomará el efecto combinado de los tres tipos de carga).

Resistencia en ángulos

La resistencia del poste o estructura será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal del viento (con un factor de sobrecarga de 2.5) y la carga resultante del cambio de dirección de conductores (con un factor de sobrecarga de 1.7).

CLASE A CLASE B

Material

Para postes y estructuras de acero no deberá usarse material más delgado que el siguiente expresado en milímetros:

En lugares donde la pintura o cubierta protectora se deteriore con rapidez, como en las costas:

En miembros principales	6	6
En otros miembros	4	4
En otros lugares:		
En miembros principales	4	4
En otros miembros	3	3

Protección contra corrosión. Las partes empotradas de postes y estructuras de acero deberán protegerse contra la corrosión mediante alguna cubierta o protección adecuada, que sobresalga del nivel del suelo.

SI SI

Conexión a tierra. Los postes y estructuras de acero deberán conectarse a tierra en forma efectiva, cuando estén en contacto con cables de forro metálico o partes de equipo con conductores a más de 750 voltios a tierra, a menos que estén protegidos adecuadamente para evitar contactos accidentales de personas

SI SI

Postes de madera

Resistencia

Coefficientes de seguridad basados en resistencia última $a/b/$

Resistencia transversal y vertical:
Al instalarse

4.0 3.0

Se conservarán a no menos de

3.0 2.0

/Resistencia

	CLASE A	CLASE B
Resistencia longitudinal:		
En cambio de clase A a B		
Al instalarse <u>c/</u>	2.0	
Se conservarán a no menos de	1.5	
En remates		
Al instalarse <u>c/</u>	2.0	1.3
Se conservarán a no menos de	1.5	1.2
Resistencia horizontal en ángulos		
Será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal del viento (multiplicada por 2.0 para clase A y por 1.5 para clase B) y la carga resultante del cambio de dirección de conductores:		
Se aplicarán los siguientes factores de seguridad mínimos:		
Al instalarse <u>c/</u>	2.0	1.3
Se conservarán a no menos de	1.5	1.2
<u>Diámetro mínimo</u> que los postes de madera deberán tener en el extremo superior, expresado en centímetros	12	12
Serán de madera escogida y libre de defectos que puedan disminuir su resistencia y preferentemente deberán ser tratados para aumentar su duración	SI	SI
<u>Ensambladuras.</u> Se recomienda no hacerlas. Cuando se hagan, deberán tener un coeficiente de seguridad no menor que el requerido para el poste	SI	SI

RETENIDAS

Las retenidas deberán tener un coeficiente de seguridad, basado en su resistencia última bajo las cargas especificadas en el punto I-b) no menor de:

Para carga transversal de la línea al instalarse	2.5	2.0
Para carga longitudinal en la línea, en cualquier tiempo:		
En cambio de clase A a B	2.0	1.3
En remates	2.0	1.3
Para carga en ángulos, en cualquier tiempo	2.2	1.4

- a/ Se considera que los postes de pino y cedro tienen una resistencia máxima aproximada de 400 kg por centímetro cuadrado. Sin embargo, deberán usarse preferentemente valores de resistencia máxima que se obtengan en pruebas experimentales en los postes de que se trata.
- b/ En cruzamientos de la clase A en que la dirección de la línea no cambie y que no sean sobre ferrocarriles o carreteras principales, se podrá considerar que los postes de madera tienen suficiente resistencia longitudinal, aunque no se haga uso de retenidas, si son redondos y si su resistencia transversal cumple con el coeficiente de seguridad especificado en este cuadro.
- c/ Si la construcción es temporal para un período máximo de cinco años, el coeficiente de seguridad para resistencia longitudinal al instalar postes de madera podrá ser disminuido siempre que durante el tiempo en que la línea esté en servicio, dicho coeficiente de seguridad no sea menor que el mínimo a que debe conservarse.
- d/ Estos factores de seguridad se aplican a madera seleccionada y debidamente tratada. Sin embargo cuando se carezca de información experimental adecuada, se recomienda utilizar un factor mínimo de seguridad de 4.

**3. Requisitos adicionales especiales para la clase A,
en cruzamientos con vías férreas**

a) Angulo de la línea con la vía

Debe procurarse no variar la dirección de la línea al cruzar la vía.

b) Distancia interpostal.

Se recomienda que en el cruzamiento la distancia interpostal sea tan corta como sea posible; pero se procurará que las estructuras de soporte disten de la vía cuando menos el equivalente a su altura.

c) Conductores

Si se trata de líneas de comunicación en línea abierta, no deberán usarse conductores de calibre más delgado que el No. 10, cuando sean de cobre semiduro, ni que el No. 12, cuando sean de acero galvanizado o sus equivalentes en resistencia mecánica. Se recomienda usar calibres mayores cuando se trate de claros de más de 50 metros, así como en distritos que no sean rurales.

d) Amarres en soportes

Deberán ser de suficiente resistencia para evitar que el conductor se corra hacia el tramo del cruzamiento.

e) Aisladores y espigas

Deberán resistir la tensión del conductor que soporten, bajo las condiciones especificadas en el punto I-a) sin sufrir daño.

f) Remates

Se deberá usar remates en ambos lados de la vía.

III. CLASE DE CONSTRUCCION SEGUN LUGARES Y CONDICIONES

Los peligros que representa una línea aérea, tanto por su voltaje como por los lugares por donde pase o que cruce y por su posición con relación a otras líneas, determinan cuál de las clases de construcción a que se refiere el punto II-1 deberá emplearse para la línea de que se trate.

El cuadro 2 indica la clase de construcción de la línea, tanto en lo referente a conductores como a sus aisladores y estructuras soportadoras, que debe usarse para los distintos voltajes y en las distintas condiciones que el mismo cuadro señala. Para la aplicación de este cuadro, véanse las disposiciones de la fracción siguiente.

Disposiciones para la selección del tipo de construcción.

(Véase el cuadro 2)

a) Circuitos de comunicación

En general, para la aplicación del cuadro, los circuitos de comunicación deberán considerarse como suministradores de 0 a 750 voltios. Se procurará que los conductores de comunicación no queden a niveles superiores a los de líneas suministradoras.

Cuando sea necesario que queden arriba de conductores suministradores de más de 750 voltios entre conductores, los conductores de comunicación deberán instalarse como si fueran suministradores de 750 a 8 700 voltios.

b) Conflicto entre líneas

En caso de conflicto entre líneas los postes o estructuras de la línea que puedan llegar a tocar a los conductores de la otra línea deberán ser de una clase no inferior a la que corresponda a un cruzamiento de la primera sobre la segunda.

1/ Definición de "conflicto entre líneas": Se dice que hay conflicto entre dos líneas cuando, sin cruzarse, están situadas de tal manera que si los postes o estructuras de una de ellas llegaran a caerse, dichos postes o estructuras, o sus conductores, pueden llegar a tocar a los conductores de la otra línea suponiendo que ninguno de los conductores se haya reventado. Se exceptúa de lo anterior el caso de dos líneas que se encuentran en lados opuestos de una calle, callejón o camino, con la separación máxima permitida por el derecho de vía, siempre que dicha separación sea mayor que el 60 por ciento de la altura de los postes o estructuras más altas y de más de 6 metros, caso en el cual se considerará que las líneas no están en conflicto.

Cuadro 2

CLASE DE CONSTRUCCION REQUERIDA PARA LINEAS SUMINISTRADORAS Y DE COMUNICACION CON APOYOS COMUNES

(Los voltajes son entre conductores)

CONDUCTORES O CONDICIONES INFERIORES	CONDUCTORES A NIVELES SUPERIORES		0 a 750 voltios		750 a 8 700 voltios		Más de 8 700 voltios	
	Lugares pobla- dos o muy transitados	Lugares des- poblados o poco transi- tados	Lugares pobla- dos o muy transitados	Lugares des- poblados o poco transi- tados	Lugares pobla- dos o muy transitados	Lugares des- poblados o poco transi- tados	Lugares pobla- dos o muy transitados	Lugares des- poblados o poco transi- tados
	Derechos de vía cercados	B	B	B	B	B	B	B	B
Calles, caminos y campo abierto	B	B	B	B	B	B	A	B
Vía férrea	A	A	A	A	A	A	A	A
Conductores de comunicación	B	B	B	B	B	B	A	A
Conductores suministra- dores	0 a 750 voltios	B	B	B	B	B	A	B
	750 a 700 voltios	B	B	B	B	B	A	B
	Más de 8 700 voltios	A	B	A	B	A	A	B

Nota: Las clases de construcción que proporciona este cuadro corresponden a las líneas en los niveles superiores.

c) Conductores en cable

A las líneas que lleven conductores en cable con cubierta metálica conectada a tierra, se les podrá aplicar la clase inmediata inferior a la indicada en el cuadro, con excepción del caso en que crucen sobre vías férreas, en el que se les aplicará la clase A.

d) Más de una condición para determinar la clase de construcción

Cuando existan dos o más condiciones que afecten a la clase de construcción de la línea, se escogerá la clase más alta fijada por la condición más exigente.

e) Cruzamientos de líneas

Cuando una línea cruce a otra por abajo, la clase de construcción para la línea inferior se determinará como si la línea más alta no existiera.

Si en una misma distancia interpostal los conductores de una línea cruzan sobre los conductores de otras dos líneas, la clase de construcción para los conductores más altos no deberá ser inferior a la clase más fuerte que corresponda a la combinación más exigente de las líneas inferiores, si éstas estuvieran en cruzamiento.

Si una línea cruza sobre otra y en la misma distancia interpostal la línea cruzada pasa a su vez sobre otra línea, la clase de la línea más alta no deberá ser menor que la de la línea inmediata inferior.

f) Circuitos de señales para la policía y para alarmas de incendio

Para determinar la clase de construcción que les corresponda, se considerarán como de comunicación y en las condiciones correspondientes.

g) Neutros de circuitos suministradores

Cuando se encuentren conectados a tierra en forma efectiva y no estén arriba de conductores de más de 750 voltios a tierra, podrán instalarse como conductores de 0 a 750 voltios a tierra, excepto que no habrá requisitos para

su aislamiento. Otros conductores neutros deberán instalarse con la misma clase que se requiere para los conductores suministradores con que estén asociados.

h) Circuitos de corriente constante

La clase de construcción para circuitos de corriente constante se basará en su voltaje nominal a plena carga.

i) Proximidad al mar

Con el objeto de evitar o disminuir la corrosión en las líneas aéreas que se construyan cerca de la costa y se encuentren expuestas directamente a la contaminación salina de la brisa del mar, se recomienda el uso de conductores de aluminio, de cobre o de aleación de aluminio.

En los casos en que se use el conductor de aluminio tipo ACSR, éste debe estar cubierto por un inhibidor de corrosión. Se recomienda también el conductor ACSR con alma de acero tipo ACSR "Alumoweld".

Todos los herrajes deberán ser de aluminio o galvanizados por inmersión en caliente.

En casos especiales de alta contaminación salina se recomienda elevar el nivel de aislamiento de la línea a la clase inmediata superior.

En estos casos es también recomendable el uso del "Copperweld" y del "Alumoweld".

Cuadro 3

ALTURA MINIMA DE CONDUCTORES SOBRE EL PISO O RIELES

(Metros)

Clase de piso o rieles sobre los cuales pasan los conductores	Retenidas, mensajeros, conductores de comunicación y de tierra y de cualquier voltaje con cubierta metálica conectada a tierra	Líneas abiertas suministradoras, incluyendo las de alumbrado en serie y acometidas (voltaje entre conductores)		
		0 a 750 V	750 a 15 000 V	15 000 a 50 000 V
		<u>a/ b/</u>		
	<u>En cruzamiento sobre</u>			
Vías férreas	8.00	8.00	8.50	9.00
Carreteras	7.00	7.00	7.00	7.00
Calles, callejones o caminos vecinales	5.50	5.50	6.00	7.00
Lugares no transitados por vehículos	5.50	5.50	5.50	6.00
	<u>A lo largo de</u>			
Calles o callejones en distritos urbanos	5.50	5.50	6.00	6.50
Caminos en distritos rurales	5.50	5.50	5.50	6.00

Condiciones: Temperatura: máxima según la zona, sin viento. Distancia entre postes no mayor de 100 m.^{c/}

- a/** Al aplicar el cuadro 3, se entenderá por el punto de cruce en el caso de vías férreas, caminos, calles y callejones, la intersección de la línea del centro de éstos con la línea que une los centros de los postes o estructuras del cruzamiento.
- b/** En cruzamiento sobre vías de conductores soportados por aisladores de suspensión, la altura deberá aumentarse en una cantidad tal que aún en el caso de que se rompa uno de los conductores en los tramos adyacentes, el conductor conserve la altura especificada en el cuadro 3.
- c/** Para distancias interpostales mayores de 100 metros, los valores especificados en el cuadro 3, deberán aumentarse un centímetro por cada metro en exceso de 100 metros.

IV. DISTANCIAS MINIMAS ENTRE PARTES CALIENTES Y ENTRE ESTAS Y TIERRA

1. Altura de conductores sobre el piso o vías férreas

El cuadro 3 especifica las alturas mínimas de los conductores sobre el piso o rieles.

2. Altura de la conexión de subidas de cables subterráneos a líneas aéreas

Esta altura no será menor que la indicada en el cuadro 4 siguiente:

Cuadro 4

**ALTURA MINIMA SOBRE EL PISO DE LA CONEXION DE LAS SUBIDAS DE CABLES SUBTERRANEOS A LINEAS AEREAS
(Metros)**

	Voltaje entre conductores (voltios)		
	a 750	750 a 15 000	Más de 15 000
Localización en el poste o estructura soportadora			
En el lado expuesto al tránsito de vehículos	4.50	5.00	5.50
En el lado no expuesto al tránsito de vehículos	2.50	3.50	4.00

3. Separación entre conductores que se crucen

El cuadro 5 especifica las separaciones mínimas entre conductores que se crucen. Sin embargo, en los casos de cruzamiento de conductores soportados por aisladores de suspensión, sobre líneas de comunicación, la separación deberá aumentarse lo suficiente para que en caso de que se rompa uno de los conductores en los tramos adyacentes, los conductores que se crucen conserven la separación especificada en el cuadro.

Cuadro 5
SEPARACIONES MINIMAS ENTRE CONDUCTORES QUE SE CRUZAN
(Metros)

Naturaleza de los conductores sobre los que se cruza	Conductores, cables de la comunicación y mensajeros	Conductores suministradores de 0 a 750 v. Cables suministradores de cualquier voltaje: siempre que tengan cubierta metálica conectada a tierra. Mensajeros asociados con dichos cables		Conductores suministradores en línea abierta incluyendo acometidas		Retenidas y mensajeros
		Líneas	Acometidas	750 a 8 700 v	8 700 a 50 000 v	
Conductores y cables de comunicación incluyendo mensajeros	0.60	1.20	0.60	1.20 ^{a/}	1.80 ^{b/}	0.60
Cables suministradores con mensajero o con cubierta metálica conectados a tierra de cualquier voltaje	<u>1.20</u>	0.60	0.60	0.60	1.20	0.60
Líneas abiertas suministradoras:						
0— 750 v	<u>1.20</u>	0.60	0.60	0.60	1.20	0.60
750 = 8 700 v	<u>1.20</u>	<u>0.60</u>	<u>1.20</u>	0.60	1.20	1.20
8 700 — 50 000 v	<u>1.80</u>	<u>1.20</u>	<u>1.80</u>	<u>1.20</u>	1.20	1.20
Retenidas, mensajeros y acometidas de 0 a 750 v	0.60 ^{c/}	0.60	0.60	1.20	1.20	0.60

Condiciones: Temperatura máxima según la zona sin viento. Distancia entre postes no mayor de 100 metros^{d/}

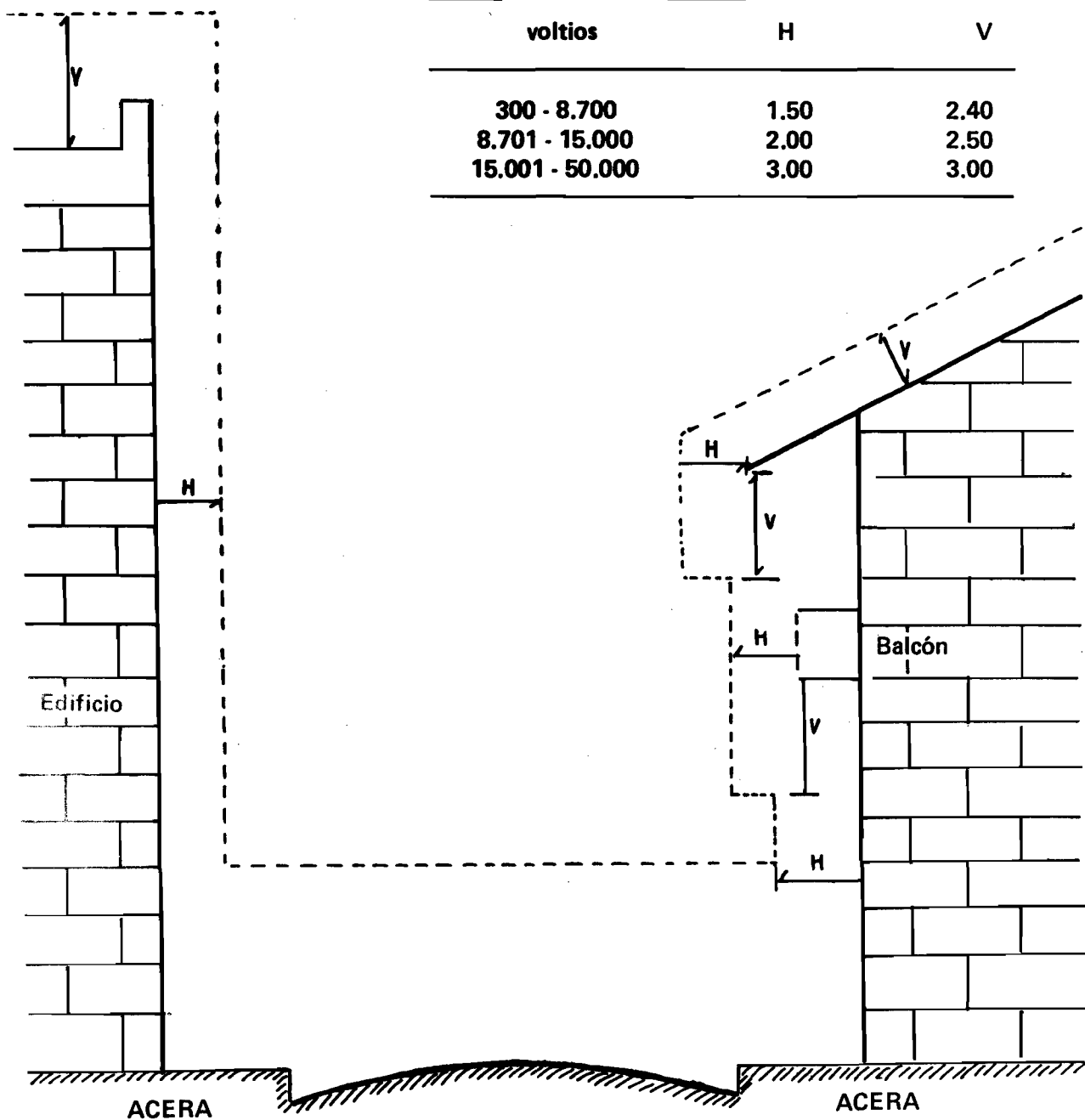
Nota: Los números subrayados indican que no es recomendable cruzar con los conductores en esa posición. Los voltajes son entre conductores.

- a/** Esta separación debe aumentarse a 1.80 metros cuando el cruzamiento del conductor suministrador sobre el de comunicación se haga a menos de 1.80 metros horizontalmente, del poste de comunicación.
- b/** Los circuitos de no más de 8 700 voltios a tierra pueden tener una separación de 1.20 metros siempre que el cruzamiento se efectúe a más de 1.80 metros horizontalmente, del poste de comunicación.
- c/** Esta separación deberá aumentarse a 1.20 metros cuando los alambres de comunicación crucen sobre acometidas.
- d/** Cuando el cruzamiento ocurra en el punto medio del claro del conductor superior, la separación deberá aumentarse un centímetro por cada metro del claro en exceso de 100 metros.

Cuadro 6

SEPARACION MINIMA DE CONDUCTORES SUMINISTRADORES A EDIFICIOS

Voltaje de la línea	Distancias (metros)	
voltios	H	V
300 - 8.700	1.50	2.40
8.701 - 15.000	2.00	2.50
15.001 - 50.000	3.00	3.00



4. Separación de conductores a edificios

El cuadro 6 especifica la separación mínima de conductores suministradores a edificios, para distancias interpostales hasta de 50 metros.

Cuando la distancia interpostal sea mayor de 50 metros y el voltaje mayor de 8 700 voltios, deberá aplicarse a las separaciones indicadas en el cuadro 6, un incremento de 1 cm por cada metro del claro en exceso de 50.

5. Separación mínima entre conductores en sus soportes, en postes o estructuras

a) Separación horizontal mínima

La separación horizontal mínima entre conductores de una línea, ya sean del mismo o de diferente circuito, no debe ser menor que la especificada en el cuadro 7 siguiente:

Cuadro 7

**SEPARACION HORIZONTAL MINIMA, EN SUS SOPORTES,
DE CONDUCTORES DEL MISMO O DE DIFERENTES CIRCUITOS,
SIN CARGA DE VIENTO**

(Los voltajes son entre conductores)

Clase de circuito	Separación (Centímetros)
Conductores de comunicación	7.5^{a/}
Conductores suministradores de 0 a 8 700 voltios	30
Para todos los conductores de más de 8 700 voltios, agréguese por cada 1 000 voltios en exceso de 8 700 voltios	1

a/ No se aplica en los puntos de transposición. Se recomienda dejar una separación mayor donde las circunstancias lo permitan.

/b) Separación

b) Separación de acuerdo con la flecha

La separación de los conductores en sus soportes, ya sean del mismo o de diferentes circuitos, de las clases de construcción A o B, en ningún caso deberá ser menor que los valores dados por la fórmula siguiente a la temperatura máxima según la zona, sin viento.

$$S.H. = (0.762) (kV) + 1.15 \sqrt{30.5 F} \text{ en la cual}$$

S.H. = separación horizontal en centímetros y

F = flecha final, en centímetros, a la temperatura máxima según la zona.

Si el cuadro 7 anterior da una separación mayor, dicho cuadro deberá ser aplicado.

6. Separación mínima entre conductores y soportes en cualquier dirección

Esta separación se medirá en cualquier dirección entre conductores de la línea y sus soportes o entre dichos conductores y conductores verticales o transversales y cables de suspensión o mensajeros fijados a la misma estructura.

a) Soportes fijos

La separación no debe ser menor que la especificada en el cuadro 8.

b) Aisladores de suspensión con movimiento libre

Cuando se usen aisladores de suspensión que puedan oscilar libremente, la distancia del conductor a la superficie de los soportes o a cables de retenida o de suspensión, o a conductores verticales o transversales, debe ser tal que la separación no sea menor que la especificada en el cuadro 8 cuando el aislador oscile 30° de la vertical. (Véase el cuadro 8).

Cuadro 8

SEPARACION MINIMA EN CUALQUIER DIRECCION ENTRE CONDUCTORES DE UNA LINEA Y SUS SOPORTES, CONDUCTORES VERTICALES O TRANSVERSALES, CABLES DE SUSPENSION Y RETENIDAS SUJETOS A LA MISMA ESTRUCTURA

Estructuras soportadoras y conductores fijados a las mismas	Conductores de líneas		Líneas de comunicación		Líneas suministradoras (Voltajes entre conductores)	
	Unicamente líneas (centímetros)	Con otras líneas en los mismos postes o estructuras (centímetros)	0 a 8 700 voltios		Con otras líneas en los mismos postes o estructuras (centímetros)	Más de 8 700 voltios, agréguese por cada 1 000 voltios en exceso (centímetros)
			Unicamente líneas suministradoras (centímetros)			
Superficie de cruceta y otros soportes horizontales	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	0.6
Superficies de postes o estructuras	7.5	12.5	7.5 <u>d/</u>	12.5 <u>b/ d/</u>	12.5 <u>b/ d/</u>	0.6
Hilos de guarda	<u>a/</u>	<u>a/</u>	<u>a/</u>	<u>a/</u>	<u>a/</u>	1.0
Cables de retenida y de suspensión, fijos al mismo poste o estructura:						
Paralelos a la línea	7.5	15	30	30	30	1.0
Otras direcciones	7.5	15	15	15	15	1.0
Conductores transversales o verticales:						
Del mismo circuito	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	0.6
De otros circuitos	7.5	7.5	15 <u>c/</u>	15 <u>c/</u>	15 <u>c/</u>	1.0

a/ La separación entre el hilo de guarda y los conductores del circuito que proteja, no debe ser menor que la especificada en el cuadro 7, para dos conductores de dicho circuito. Para determinar la separación mínima del hilo de guarda a otros conductores que no sean los del circuito que proteja, se considerará que el hilo de guarda tiene el voltaje a tierra de dicho circuito; b/ Esta separación solamente se aplica a conductores suministradores montados en crucetas que se encuentren abajo de conductores de comunicación, en el mismo poste o estructura. Cuando los conductores suministradores estén arriba de los de comunicación, la distancia mínima será de 7.5 centímetros; c/ Para circuitos suministradores de 0 a 750 voltios esta distancia puede reducirse a 7.5 centímetros; d/ Un conductor neutro que esté efectivamente conectado a tierra a lo largo de la línea y que forme parte de un circuito de 0 a 15 000 voltios entre conductores puede sujetarse directamente al poste o a la estructura.

7. Separación entre conductores en bastidores verticales

Los conductores pueden montarse en bastidores verticales colocados en un lado del poste o estructura, si se cumple con las condiciones siguientes:

a) El voltaje entre conductores no debe ser mayor de 750 voltios. Se exceptúan los cables de cualquier voltaje que tengan cubierta metálica continua conectada a tierra.

b) Los conductores pueden ser del mismo material, siempre que el que produzca más flecha ocupe las posiciones inferiores.

c) La separación vertical entre conductores de distinta fase o distinta polaridad no debe ser menor que la siguiente:

Longitud del claro (metros)	Separación vertical mínima entre conductores de distinta fase o distinta polaridad (centímetros)
0 a 80	20
80 a 100	30

En claros no mayores de 25 metros cuando se usen conductores con forro aislante, la separación podrá reducirse hasta a 7.5 centímetros.

d) La separación entre los conductores y la superficie de postes o estructuras no debe ser menor de 7.5 centímetros.

8. Separación vertical entre conductores o equipo colocados a diferentes niveles en el mismo poste o estructura

a) Separación vertical entre crucetas horizontales

Las crucetas que soporten conductores de línea deben estar espaciadas de acuerdo con el cuadro 9. La separación vertical entre crucetas debe medirse de centro a centro.

Donde se haya establecido la práctica de instalar crucetas con menor separación que la especificada en el cuadro 9, puede seguirse usando dicha separación, siempre que se cumpla con todas las otras separaciones prescritas en esta norma que les sean aplicables.

Cuadro 9

SEPARACION VERTICAL MINIMA ENTRE CRUCETAS HORIZONTALES CON CONDUCTORES

(Todos los voltajes son entre conductores)

Conductores suministradores de preferencia en los niveles superiores	Línea abierta de 0 a 750 voltios, cables de todos los voltajes con cubierta metálica conectada a tierra o mensajeros (metros)	750 a 8 700 voltios	8 700 15 000 voltios	15 000 a 50 000 voltios
Conductores de comunicación				
En general	1.20	1.20	1.80	...
Que se usen en la operación de líneas suministradoras	0.60	0.60 ^{a/}	1.20	1.20
Conductores suministradores				
0 a 750 voltios	0.60	0.60	1.20	1.20
Más de 750 a 8 700 voltios	...	0.60	1.20	1.20
Más de 8 700 a 15 000 voltios				
Si se trabajan vivos con herramientas de mangos largos, cuando los circuitos adyacentes no estén muertos ni protegidos	...	...	1.20	1.20
Si no se trabajan vivos excepto cuando los circuitos adyacentes (arriba o abajo) estén muertos o protegidos	...	...	0.60	1.20 ^{b/}
Más de 15 000 a 50 000 voltios	...	...	0.60	1.20 ^{b/}

a/ Esta separación debe aumentarse a 1.20 metros cuando los conductores de comunicación queden arriba de los conductores suministradores, a menos que los conductores de las líneas de comunicación sean del calibre requerido para líneas suministradoras de clase de construcción B.

b/ Esta separación no se aplica al caso en que los distintos conductores de un mismo circuito queden repartidos en crucetas adyacentes.

b) Separación vertical entre conductores soportados por crucetas horizontales

Quando los conductores de líneas suministradoras estén soportados por crucetas horizontales con la separación especificada en la fracción anterior, la separación vertical entre dichos conductores no debe ser menor que la siguiente:

i) Cuando los conductores en la cruceta son de la misma clasificación de voltaje de las señaladas en el cuadro 9. En estas condiciones, la separación vertical requerida en el cuadro 9 puede reducirse como sigue:

Separación entre crucetas requeridas en el cuadro 9 (metros)	La separación entre conductores puede reducirse a: (metros)
0.60	0.40
1.20	1.00
1.80	1.50

ii) Cuando se instalen conductores de diferente clasificación de voltaje en la misma cruceta. En estas condiciones, la separación vertical entre conductores de crucetas adyacentes será la especificada en el cuadro 9 para el conductor de mayor voltaje.

iii) Conductores con diferentes flechas en el mismo poste o estructura.

1) Variación de la separación. Los conductores soportados a diferentes niveles en el mismo poste o estructura y tendidos con diferentes flechas, deberán tener una separación vertical, en los soportes, que asegure una separación de los conductores en cualquier punto del claro a la temperatura máxima según la zona, sin viento, no menor que el 75 por ciento de las separaciones señaladas en el cuadro 7 y en esta fracción.

2) Restablecimiento de flechas. Las flechas deberán restablecerse cuando sea necesario, a fin de que se cumpla con lo antes prescrito.

c) Separación en cualquier dirección

Los conductores de igual o diferente clasificación de voltaje, de las señaladas en el cuadro 9, cuando se instalen en el mismo poste o estructura en crucetas no horizontales, deberán tener una separación entre conductores

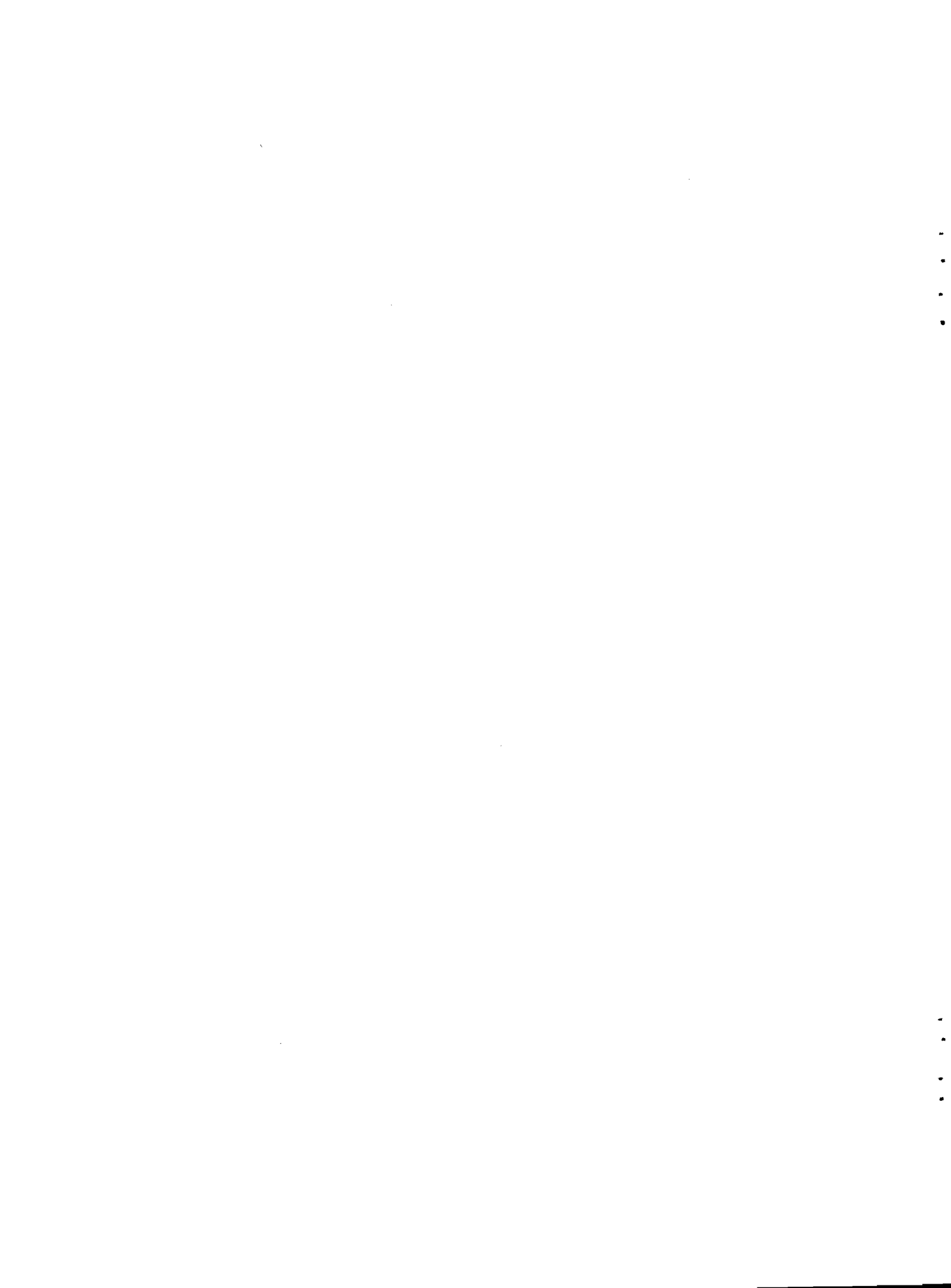
/en cualquier

en cualquier dirección no menor que la indicada en el mencionado cuadro 9 para separación vertical, ni que la separación horizontal especificada en el cuadro 7.

d) Separación vertical para conductores de líneas no soportados por crucetas

La separación vertical entre conductores no soportados por crucetas, será igual a la especificada en el inciso b)-i) para conductores en crucetas, con excepción de los conductores en bastidores verticales que cumplan con los requisitos del artículo 7, que pueden tener las separaciones indicadas.

NORMA DE TRABAJO CRNE-11
CRITERIOS DE DISEÑO ELECTRICO PARA REDES DE DISTRIBUCION
DE ENERGIA ELECTRICA
(Equipo de protección y medición)



I. EQUIPO DE PROTECCION

1. Pararrayos de distribución

a) Relaciones fundamentales

En la selección del pararrayos apropiado para la protección de redes de distribución, deben evaluarse las siguientes relaciones fundamentales:

1) Las características de protección al impulso del pararrayos en relación al nivel básico de aislamiento al impulso (NBI) de los aparatos que se protegen;

2) El voltaje nominal del pararrayos en relación a la máxima tensión eléctrica que puede ocurrir entre fase y tierra del sistema bajo cualquier condición de operación en el lugar de instalación del pararrayos.

El nivel de protección al impulso que puede ser obtenido con un tipo determinado de pararrayos es, en general, proporcional al voltaje nominal del mismo. Por lo tanto, para obtener el máximo margen de protección bajo condiciones de impulso, el pararrayos debe tener el mínimo voltaje nominal que le permitan los valores normales y anormales de la tensión eléctrica que pueden ocurrir entre fase y tierra del sistema, en el lugar en que éste será instalado.

Durante la descarga del pararrayos, el equipo protegido queda sujeto a una tensión eléctrica equivalente al producto de la corriente de descarga por la resistencia del pararrayos. Para obtener una protección adecuada, el pararrayos debe permitir el paso de altas corrientes de descarga y al mismo tiempo mantener al mínimo la caída de voltaje residual ($I \times R$).

b) Voltajes anormales del sistema

Cualquiera de las causas siguientes, o una combinación de ellas, puede producir voltajes anormales en el sistema.

1) Contacto con circuitos de alto voltaje;

2) Pérdida de conexión del neutro a tierra. (Debida, por ejemplo, a la operación selectiva de dispositivos de interrupción, en tal forma que dejen esa parte del sistema en que el pararrayos está localizado, energizada por una fuente de alimentación sin el neutro a tierra);

3) Regulación de aparatos o líneas, sobrevelocidades de los generadores, operaciones de recierre de interruptores, aperturas de una o dos fases de interruptores trifásicos, etc.;

4) Fallas en el sistema.

c) Clasificación de sistemas

Las tensiones eléctricas anormales entre fase y tierra de un sistema durante condiciones de falla varían en forma considerable, dependiendo de conexiones del neutro a tierra y de las constantes del sistema, las cuales se expresan en términos de resistencia de secuencia cero R_0 , reactancia de secuencia cero X_0 y reactancia de secuencia positiva X_1 , incluyendo, dentro del sistema, la impedancia de la conexión a tierra del neutro. Con estas constantes se pueden calcular, usando métodos conocidos, los voltajes a tierra, durante condiciones de falla.

La efectividad de la conexión del neutro a tierra para limitar la magnitud de los voltajes de fase a tierra, puede expresarse aproximadamente en función de las proporciones X_0/X_1 y R_0/X_1 . En general, cuanto más bajas sean estas proporciones, tanto más bajos serán dichos voltajes durante las fallas.

De lo anterior se deriva que en sistemas en los que dichas proporciones se mantienen dentro de ciertos límites prefijados, pueden usarse pararrayos cuyos voltajes nominales son menores que la tensión eléctrica entre fases del sistema. En la misma forma, para otros límites de dichas proporciones, los pararrayos deberán tener voltajes nominales iguales al voltaje entre fases del sistema.

Para el propósito de seleccionar el pararrayos apropiado, los sistemas trifásicos con neutro a tierra se clasifican en los tipos siguientes:

Tipo A. Son aquellos que están usualmente bien aterrizados, y cuyas proporciones de reactancia y resistencia son más bajas que para los sistemas tipo B, pero cuyas constantes no son conocidas con suficiente detalle para establecer sus límites. Específicamente, a este tipo pertenecen los sistemas usuales de distribución en estrella con neutro a tierra, para los cuales la selección de pararrayos ha sido establecida por la experiencia.

/Tipo B.

Tipo B. Son aquellos en los que $X_o/X1$, es positiva y menor que 3, y $R_o/X1$ es positiva y menor que 1, en cualquier parte del sistema. Estos límites corresponden a la definición de un sistema "efectivamente aterrizado".

Tipo C. Son aquellos que no llenan los requisitos del tipo B, ya sea porque $X_o/X1$, es mayor que 3, aunque siempre positiva, o porque $R_o/X1$ sea mayor que la unidad, o porque ambas proporciones sean excedidas. En este tipo se incluyen los sistemas que usan neutralizadores de fallas a tierra.

d) Selección de pararrayos

La tabla I especifica el criterio que debe seguirse para la selección del pararrayos apropiado, en función de la clasificación de sistemas, así como los niveles de aislamiento necesarios para cada voltaje nominal.

Tabla I ^{a/}

PARARRAYOS DE DISTRIBUCION. CARACTERISTICAS NORMALES Y
CRITERIOS DE SELECCION

(Voltajes en kV)

Valores nominales	Niveles de aislamiento			Máximo permitido entre fases		
	NBI	Pruebas a 60 Hz		Tipo A	Tipo B	Tipo C
		Seco (1 min.)	Húmedo (10 seg.)			
3	45	15	13	4.50	3.75	3
6	60	21	20	9.00	7.50	6
10	75	27	24	14.50	12.50	10
12	85	31	27	15.00	15.00	12
15	95	35	30	18.00	18.00	15
18	125	42	36	25.00	22.50	18
21	125	42	36	27.50	25.00	21
27	150	70	60	34.50	31.25	25
30	200	95	80	41.60	37.50	30

^{a/} Los datos de esta tabla están basados en las normas NEMA publicación # LA-1, revisión de 1966.

e) Recomendación

Se recomienda a las Empresas Eléctricas del Istmo Centroamericano, el uso, en sus sistemas de distribución, de pararrayos tipo válvula, sin entrehierro externo, de los siguientes voltajes nominales:

Tensión eléctrica del sistema en kV	Voltaje nominal del pararrayos en kV	
	Neutro multi-aterrizado	Neutro sólidamente a tierra en la fuente
2.4/4.16 Y	3	—
7.62/13.2 Y	10	12
14.4/24.94 Y	18	21
19.92/34.5 Y	27	30

f) Correspondencia con otras normas

En el diseño, fabricación y pruebas de los pararrayos deberán prevalecer, en su orden, las normas que al respecto han establecido la IEC/ISO, USASI y NEMA.

2. Cortacircuitos para distribución

Se consideran normales para uso en sistemas de distribución de energía eléctrica, los cortacircuitos que cumplan con las características siguientes :

i) Características generales

Tipo: Abierto

Operación: Con pértiga

Montaje: Vertical en cruceta

Clase: Distribución

/ii) Características

ii) Características individuales

<u>Voltajes (kV)</u>		<u>Corrientes nominales (A)</u>		Para uso en sistemas de kV
Máximo de diseño	NBI	Continua	Interruptiva asimétrica	
7.8/13.5	95	100	5 000	Hasta 7.62/13.2 Yo y 14.4, 1 Ø, 2 hilos
7.8/13.5	95	100	10 000	
7.8/13.5	95	200	8 000	
15	95	100	4 000	
15	95	100	8 000	
15	95	200	10 000	
15/26	125	100	4 000	14.4/24.9 Yo
15/26	125	100	8 000	
27	150	100	1 200 a	19.92/34.5 Yo
			6 000	

iii) Placa de características. La placa de características debe incluir, como mínimo, los siguientes datos:

- 1) Marca del fabricante;
- 2) Corriente continua nominal;
- 3) Voltaje máximo de diseño;
- 4) Capacidad interruptiva nominal;
- 5) Nivel básico de aislamiento al impulso (NBI).

iv) Correspondencia con otras normas. En el diseño, fabricación y pruebas de los cortacircuitos, deberán prevalecer las normas que al respecto han establecido la USASI y la NEMA de los Estados Unidos de Norteamérica.

v) Fusibles. Se consideran normales para ser usados en los cortacircuitos, los fusibles tipos K y T según las especificaciones de las normas USASI C-37.43, de las siguientes denominaciones:

- 1) Capacidades preferidas. 6 - 10 - 15 - 25 - 40 - 65 - 100 - 140 y 200 amperios.
- 2) Capacidades intermedias. 8 - 12 - 20 - 30 - 50 y 80 amperios.
- 3) Otras capacidades. 1 - 2 y 3 amperios.

En casos especiales se podrán usar fusibles de otras características.

3. Cuchillas seccionadoras para distribución

Se consideran normales para uso en sistemas de distribución de energía eléctrica, las cuchillas seccionadoras que cumplan con las características siguientes:

a) Características generales

Tipo:	Línea	Servicio:	Intemperie
Clase:	Distribución	Operación:	Con pértiga
Aisladores:	Tipos espiga y subestación		
Montaje:	Horizontal invertido		

b) Características individuales

Nominal	Voltajes (kV)		Corriente (A)		Para uso en sistemas de kV
	Máximo de diseño	NBI	Continua nominal	Momentánea	
14.4	15.5	95	200	16 000	
14.4	15.5	110	400	20 000	Hasta 7.6/13.2 Yo y 14.4, 1 ϕ , 2 hilos
14.4	15.5	110	600	40 000	
23	25.8	150	400	20 000	14.4/24.9 Yo y 19.9
23	25.8	150	600	40 000	1 ϕ , 2 hilos
34.5	38	200	400	20 000	
34.5	38	200	600	40 000	19.9/34.5 Yo

c) Placa de características

La placa de características debe incluir, como mínimo, los siguientes datos:

- 1) Marca del fabricante;
- 2) Corriente continua nominal;
- 3) Voltaje máximo de diseño;
- 4) Nivel básico de aislamiento al impulso (NBI)

d) Otras características

Como estas cuchillas son usadas para seccionar o derivar circuitos de distribución, deben estar provistas de herrajes que permitan su montaje en cruceta sencilla o doble, y la instalación de accesorios para remate de línea en ambos extremos del herraje. Deben estar provistas, además, del o los dispositivos necesarios que permitan el uso del "rompecargas" (loadbuster).

/e) Correspondencia

e) Correspondencia con otras normas

En el diseño, fabricación y pruebas de las cuchillas seccionadoras, deberán prevalecer las normas que al respecto han establecido la USASI y NEMA de los Estados Unidos.

4. Restauradores y seccionadores automáticos

a) Definiciones

i) Restaurador automático. Es un equipo autocontenido que interrumpa y recierre un circuito de corriente alterna, de acuerdo a una secuencia predeterminada de aperturas y recierres.

Nota: Se dividen en dos clases : distribución y potencia.

ii) Seccionador automático. Es un equipo autocontenido que se usa en coordinación con un restaurador automático instalado entre el seccionador y la fuente de alimentación de la red. Su función es abrir automáticamente, durante condiciones de circuito abierto, después de un número determinado de operaciones de apertura del restaurador, cuando las condiciones de sobrecarga o de falla sobrepasan la capacidad del seccionador automático. Puede ser operado manualmente para interrumpir la corriente nominal.

b) Voltajes normales

i) El voltaje nominal de un restaurador o seccionador deber ser igual o mayor que el valor máximo de la tensión eléctrica de línea a línea del sistema en el cual se usará, sin tomar en cuenta si el neutro del sistema está conectado a tierra o no;

ii) El voltaje nominal de un restaurador o seccionador es el valor más alto de la tensión eléctrica nominal del sistema en el cual se instala el equipo y deberá estar de acuerdo con los valores de la tabla II.

Tabla II

VOLTAJES NORMALES DE RESTAURADORES Y SECCIONADORES EN KV

Voltaje nominal	Voltaje máximo de diseño	
	Distribución	Potencia
14.4 23 <u>a/</u>	15.0	15.5 25.8

a/ Los restauradores y seccionadores de este voltaje nominal pueden ser aplicados a sistemas de 14.4/24.9 kV.

c) Corrientes normales

i) Restauradores. Los valores normales de las corrientes continuas y de interrupción estarán de acuerdo con los valores de la Tabla III.

Tabla III

CORRIENTES NORMALES DE RESTAURADORES AUTOMATICOS

(Amperios)

Continuas	Distribución Voltaje nominal 14.4 kV y 95 kV - NBI	Interruptivas		
		Potencia		
		Voltaje nominal 14.4 kV y 110 kV-NBI		Voltaje nominal 23 kV y 150 kV NBI
		Clase I	Clase II	Clase III
10	250			400
15	375			600
25	625	1 000	1 500	1 000
35	875	1 400	2 100	1 400
50	1 250	2 000	3 000	2 000
70		2 000	4 000	2 500
100		2 000 <u>a/</u>	4 000 <u>b/</u>	6 000 2 500
140			4 000 <u>b/</u>	8 000
200			4 000 <u>b/</u>	8 000 <u>c/</u>
280			4 000 <u>b/</u>	8 000 <u>c/</u>
400				8 000 <u>c/</u>
560				8 000 <u>c/</u>

a/ El valor máximo de 2.4 a 4.8 kV es 3 000 amperios.

b/ El valor máximo de 2.4 a 4.8 kV es 6 000 amperios.

c/ El valor máximo de 2.4 a 4.8 kV es 12 000 amperios.

/ii) Seccionadores

ii) Seccionadores. El valor normal de la corriente interruptiva será igual o mayor que el 220 por ciento del valor de la corriente continua.

Los valores normales de las corrientes continuas y momentáneas asimétricas, estarán de acuerdo con los valores de la tabla IV.

Tabla IV

CORRIENTES NORMALES DE SECCIONADORES AUTOMATICOS

(Amperios)

Continua	Momentánea asimétrica	1 Seg.	10 Seg.
10	1 600	400	125
15	2 400	600	190
25	4 000	1 000	325
35	6 000	1 500	450
50	6 500	2 000	650
70	6 500	3 000	900
100	6 500	4 000	1 250
140	6 500	4 000	1 800

d) Pruebas dieléctricas

Los restauradores y seccionadores serán diseñados y construidos de manera que resistan los voltajes de pruebas dieléctricas especificados en la tabla V.

Tabla V

**VOLTAJES DE PRUEBAS DIELECTRICAS DE RESTAURADORES
Y SECCIONADORES AUTOMATICOS**

(kv)

Valores nominales		Pruebas dieléctricas		
		A 60 hertz		Impulso
Distribución	Potencia	Seco 1 min.	Húmedo 10 seg.	Valor cresta (NBI)
14.4		35	30	95
	14.4	50	45	110
	23.0	60	50	150

e) Placa de características

Las placas de características de los restauradores y seccionadores deberán contener, como mínimo, la siguiente información:

- 1) Nombre y dirección del fabricante;
- 2) Número de serie del fabricante y modelo que indique su diseño o construcción. Los cambios en el diseño, construcción o en las características de operación, que afecten su aplicación o servicio, serán acompañados por un cambio en los datos de identificación;
- 3) Voltaje nominal o rango de voltajes nominales;
- 4) Corriente continua;
- 5) Corriente mínima,
 - i) De disparo (para restauradores)
 - ii) De accionamiento (para seccionadores);
- 6) Corriente interruptiva;
- 7) Nivel básico de aislamiento al impulso (NBI)

f) Correspondencia con otras normas

En el diseño, fabricación y pruebas de estos equipos, deberán prevalecer las normas que el afecto han establecido la USASI y EEI-NEMA de los Estados Unidos de Norteamérica.

**II. EQUIPO DE MEDICION
MEDIADORES DE kWh**

Se consideran normales para uso en las acometidas de los sistemas de distribución de energía eléctrica del Istmo Centroamericano, los medidores de kWh que cumplan con las características siguientes, según el tipo de servicio:

1. **Para 120 voltios, servicio monofásico bifilar**
De 15 amperios, clase 100
De 30 amperios, clase 200
2. **Para 120 voltios, servicio bifásico ("network") trifilar**
De 15 amperios, clase 100 de 2 elementos
De 30 amperios, clase 200 de 2 elementos
3. **Para 120/240 voltios, servicio monofásico trifilar**
De 15 amperios, clase 100 de 2 elementos
De 30 amperios, clase 200 de 2 elementos
4. **Para 120/208 voltios, estrella, servicio trifásico de cuatro hilos**
De 2.5 amperios, clase 10 de 3 elementos
De 15 amperios, clase 100 de 2 1/2 elementos
De 30 amperios, clase 200 de 2 1/2 elementos
5. **Para 240 voltios, delta, servicio trifásico trifilar o de cuatro hilos**
De 2.5 amperios, clase 10, de 2 elementos
De 2.5 amperios, clase 10, de 2 1/2 elementos
De 2.5 amperios, clase 20
De 15 amperios, clase 100 de 2 1/2 elementos
De 30 amperios, clase 200 de 2 1/2 elementos
6. **Nota**

Se aceptan como normales los medidores de 15 amperios, clase 45.

7. **Otras características**

a) Los contadores de kWh pueden ser de conexión frontal (bottom connected) o tipo "socket" y deben tener las siguientes características:

/i) Los de

i) Los de conexión frontal deben tener la base o caja hecha de una sola pieza de aluminio fundido a troquel resistente a la corrosión y la tapa totalmente de vidrio, libre de esfuerzos para evitar su quebradura. La base y la tapa deben asegurarse de tal manera que sean herméticas al agua y al polvo y deben poseer un dispositivo para sellarlas. La caja de bornes, debe ser de material plástico moldeado resistente al arco y a la humedad, de acuerdo con las normas ASTM, publicación No. D570-42. Los bornes deben estar embutidos en la masa y separados por tabiques aislantes y deben acomodar conductores del No. 12 al No. 2 AWG inclusive, con tornillos de 3/8 de pulgada de diámetro diseñados de tal manera que aseguren un contacto eléctrico efectivo. La tapa de la caja de bornes debe ser de aluminio, de tipo largo, con entradas para el conductor laterales y en la parte inferior y que puedan ser selladas independientemente de la tapa de vidrio principal.

ii) Los medidores de conexión tipo "socket" deben tener de acero inoxidable el aro que soporta la cubierta de vidrio. La base debe ser de una sola pieza resistente al arco y contra golpes y junto con la cubierta de vidrio debe constituir una caja no inflamable para el mecanismo del contador. Este último no debe ser afectado por cambios normales de temperatura, la presencia de humedad y otras causas normales. El contador debe estar equipado con un empaque adecuado entre la cubierta de vidrio y la base, así como de un filtro de vidrio que elimine la entrada de polvo y que permita la evacuación de la humedad.

iii) Los conectores de los medidores del tipo de conexión frontal deben ser del tipo universal, para conductores de cobre y de aluminio.

iv) Ambos tipos de medidores, (conexión frontal y socket), serán diseñados y construidos para ser usados en la intemperie.

b) Las carátulas de los indicadores de demanda deben ser preferentemente del tipo de medición de rango amplio (Broad range metering), para mejor exactitud.

c) Los números del indicador o registro, (el cual puede ser del tipo reloj o de ciclómetro), deben ser estampados o de otra manera que evite que sean borrados por los rayos solares.

d) La bobina de potencial debe estar cubierta por un aislamiento de alto dieléctrico a prueba de hongos. Las bobinas de corriente deben ser de barra de cobre y selladas con un compuesto aislante de alto dieléctrico. No se acepta aislamiento de papel. Las láminas del núcleo deben ser de un acabado superior y prensado con remaches a presión;

e) Todos los tornillos de ajuste deben ser fácilmente accesibles desde el frente del medidor;

f) El eje del disco debe constituir un conjunto rígido con el disco. El tornillo sin fin que mueve el indicador debe ser torneado directamente en el eje. La suspensión del eje debe ser preferiblemente del tipo magnético. El disco debe estar provisto de marcas en la orilla que permitan una calibración estroboscópica del contador;

g) El aislamiento entre partes portadoras de corriente de circuitos separados y entre éstas y otras partes metálicas, debe soportar un voltaje eficaz de 2.5 kV, 60 hertz, durante un minuto;

h) Los contadores deben mantener una exactitud de medición dentro del 1 por ciento del registro correcto para las siguientes variaciones de los valores nominales, entendidas a un factor de potencia unitario para la sobrecarga y de hasta 0.5 para la frecuencia y el voltaje:

- i) En frecuencia: más y menos 5 por ciento;
- ii) En voltaje: más y menos 8 por ciento;
- iii) En carga: hasta el máximo según el amperaje y la clase de medidor especificado.

i) Los contadores trifásicos deben tener una placa de características que contenga como mínimo, la siguiente información:

- i) Nombre del fabricante
- ii) Tipo y número de serie
- iii) Clase
- iv) Voltaje y conexión
- v) Número de elementos
- vi) Número de hilos
- vii) Frecuencia 60 Hz
- viii) Corriente nominal
- ix) Constante de kilovatio-hora

- x) Factor de multiplicación
- xi) Propiedad de (nombre de la empresa)

8. Correspondencia con otras normas

En el diseño, fabricación y pruebas de los medidores deberán prevalecer las normas que al respecto han establecido la USASI y la EEI-NEMA de los Estados Unidos de Norteamérica.

Norma de Trabajo CRNE-15**CRITERIOS DE DISEÑO ELECTRICO PARA REDES DE SUBTRANSMISION
Y TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA****A VOLTAJES NOMINALES****1. Definición**

Tensión eléctrica o voltaje nominal de un circuito o sistema, es el valor de la tensión eléctrica o voltaje con el que se le designe.

2. Voltajes nominales normales

Se adoptan como normales para el diseño de líneas trifásicas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en el Istmo Centroamericano, los siguientes voltajes nominales entre fases:

Subtransmisión: 46 y 69 (*) kV

Transmisión: 115, 138 (*) y 230 (*) kV

B. CALIBRES Y MATERIALES DE CONDUCTORES

1) Los conductores eléctricos se designarán por su calibre utilizando el sistema AWG (American Wire Gauge) de los Estados Unidos de Norteamérica. Entre paréntesis se indicará el equivalente del mismo en milímetros cuadrados.

2) Las características propias de cada conductor, tales como diámetro, área, peso, resistencia eléctrica, resistencia última, etc., deberán especificarse usando el sistema MKSA.

3) Se adoptan como normales los siguientes tipos de conductores y calibres, para uso en las líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica:

<u>Tipo de conductor</u>	<u>Calibres normales (AWG)</u>
ACSR	4/0, 266.8, 336.4, 477, 556.5, 636 y 795 MCM

El número de hilos de aluminio y acero de los conductores ACSR se determinará según los requerimientos de diseño para cada caso en particular.

(*) Voltajes preferidos.

/4) Con el

4) Con el objeto de evitar o disminuir la corrosión en las líneas aéreas que se construyan cerca de la costa y se encuentren expuestas directamente a la contaminación salina de la brisa del mar, se recomienda el uso de conductores de aluminio tipo ARVIDAL o ACAR (Aluminum: Conductor Alloy Reinforced), con los accesorios adecuados.^{1/} En ocasiones en que se deba usar el conductor de aluminio tipo ACSR, el núcleo de acero del conductor deberá estar cubierto por una capa de grasa, ser de alumowel, o estar protegido por algún otro medio adecuado.

C. REGULACION DE VOLTAJES Y PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA

1. Límites de voltaje permisibles

Los límites máximos y mínimos de voltaje permisibles en los sistemas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica se indican en el cuadro 1. Estos valores limitan la zona de operación de los respectivos sistemas, dentro de la cual los equipos utilizados deben ser capaces de operar en forma continua; no señalan el rango de variaciones que podría existir en un mismo punto del sistema.

Cuadro 1

LIMITES DE VOLTAJE PERMISIBLES EN LOS SISTEMAS DE SUBTRANSMISION Y TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA (kV)

Voltaje nominal	Límite máximo	Límite mínimo
46	48.3	40
69	72.5	60
115	121	100
138	145	120
230	242	200

^{1/} Las juntas de compresión de aluminio para tracción total y las terminales, deben tener la sección transversal adecuada para compensar la mayor resistencia de las aleaciones con relación al ACSR.

2. Regulación de voltaje

Con el objeto de garantizar niveles de voltaje adecuados en las líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica para todas las posibles condiciones de carga, limitar a un nivel conveniente de operación el valor máximo de la tensión eléctrica en las líneas y mantener las pérdidas de las mismas dentro de límites aceptables, se establece como norma de trabajo para el diseño de líneas de subtransmisión y transmisión, un valor máximo de regulación de voltaje de 10 por ciento, bajo condiciones de máxima carga.

La regulación de voltaje de una línea se define como la diferencia de las magnitudes de las tensiones eléctricas de envío y de recibo de la línea, expresada como porcentaje de la magnitud del voltaje nominal de la misma.

3. Pérdidas de potencia y energía

Se adopta como normal para el diseño de líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en el Istmo Centroamericano, un valor de pérdidas de potencia máximo de 5 por ciento.

En casos de líneas que operan a bajo factor de carga anual, este valor puede aumentarse hasta un máximo de 10 por ciento, siempre que no signifique una pérdida excesiva de energía durante el año.

Las pérdidas de potencia (expresadas en porcentos) están en función de la potencia máxima entregada en el lado de recibo de la línea.

El factor de potencia de la carga en el lado de recibo, deberá mantenerse lo más cerca posible de la unidad, y se recomienda que no sea menor de 0.95 atrasado. En igual forma, se recomienda que el factor de potencia en el lado de envío sea igual o mayor de 0.90 atrasado.

D. NIVELES DE AISLAMIENTO

1. En el diseño de líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en el Istmo Centroamericano, la selección de los niveles de aislamiento cumplirá con los requisitos siguientes:

/a) La tensión

a) La tensión eléctrica de arqueo del aislamiento en atmósfera húmeda a la frecuencia de operación del sistema (60 hertz), será mayor que cuatro veces el valor del voltaje nominal de operación de la línea con respecto al neutro del sistema.

b) La tensión eléctrica de arqueo al impulso del aislamiento de la línea será mayor que el nivel básico de aislamiento al impulso (NBI) del equipo de subestación conectado a la línea, indicado en el cuadro 2, para cada voltaje nominal.

Cuadro 2

NIVELES BASICOS NORMALES DE AISLAMIENTO AL IMPULSO
(kV)

Voltaje nominal	NBI normal	NBI reducido ^{a/}
46	250	—
69	350	—
115	550	450
138	650	550
230	1 050	900

^{a/} Aceptado para sistemas con neutro conectado sólidamente a tierra.

Nota: El número mínimo de aisladores por cadena tipo CRNE AIS-3 (clase NEMA 52-3) o equivalente, que satisface las condiciones estipuladas en los incisos a) y b) anteriores, es de 3, 4, 7, 8, y 14 unidades, para sistemas de 46, 69, 115, 138 y 230 kV respectivamente.

2. Bajo condiciones normales se recomienda a las empresas que utilicen el aislador CRNE AIS-3 (clase NEMA 52-3) o equivalente, en las cantidades por fase, que se indican en el cuadro 3.

3. En zonas especiales de alto nivel de tormenta o de alta humedad relativa cercanas al mar o a volcanes con atmósferas cargadas de polvo, productos químicos, etc., se deberá considerar cada caso con el objeto de elevar el nivel de aislamiento si fuere necesario.

En zonas cercanas al mar es recomendable el uso de una capa de silicón en los aisladores para evitar la acción de la brisa salina en los mismos. Cuando se hace necesaria una mayor protección contra la contaminación ambiental se recomienda el uso del aislador tipo "rog".

Cuadro 3

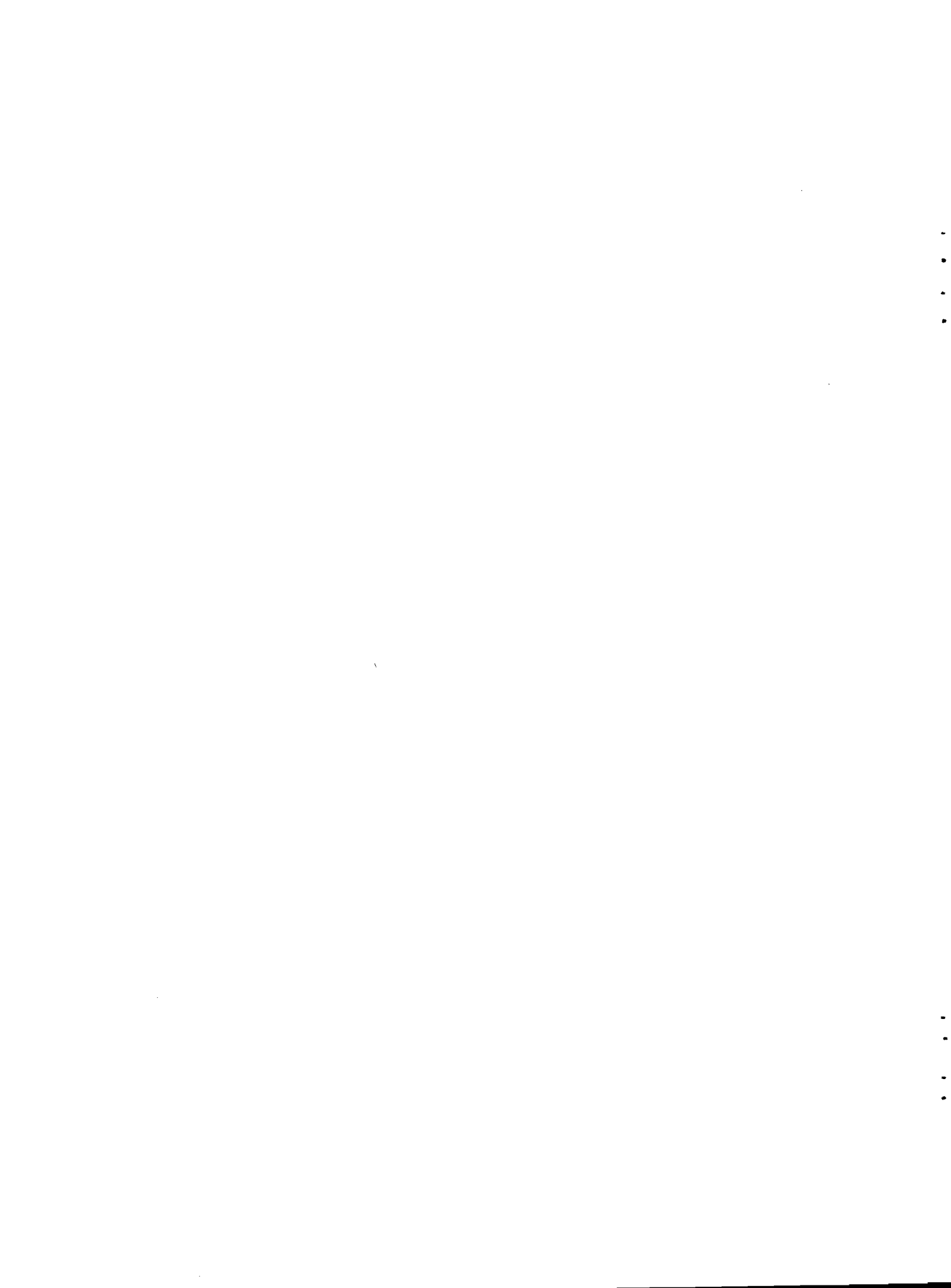
CANTIDAD DE AISLADORES AIS-3 RECOMENDADOS POR FASE

Voltaje nominal (kV)	Cantidad de aisladores por cadena y relación entre voltajes de arqueo en húmedo y de fase a neutro					
	Suspensión		Angulos		Remates	
	Número de aisladores	Relación	Número de aisladores	Relación	Número de aisladores	Relación
46	4	6.4	4	6.4	4	6.4
69	5	5.4	6	6.4	6	6.4
115	8	5.0	9	5.6	10	6.2
138	9	4.7	10	5.2	11	5.7
230	15	4.5	17	5.0	18	5.3

4. La norma podrá modificarse en casos de remates de líneas en estructuras de soporte o en subestaciones, o bajo condiciones especiales de operación de naturaleza mecánica, tales como calibres mayores de conductores o tramos muy largos que impongan esfuerzos anormales en los aisladores. Esta modificación se refiere al uso de la doble cadena de aisladores para mayor resistencia y no al número de aisladores de una sola cadena.

5. En zonas localizadas a más de 1 000 metros s.n.m., debe tomarse en cuenta un factor de corrección para los valores de arqueo en seco, a 60 Hz, de los aisladores tipo espiga, poste y de suspensión. Estos valores se indican a continuación:

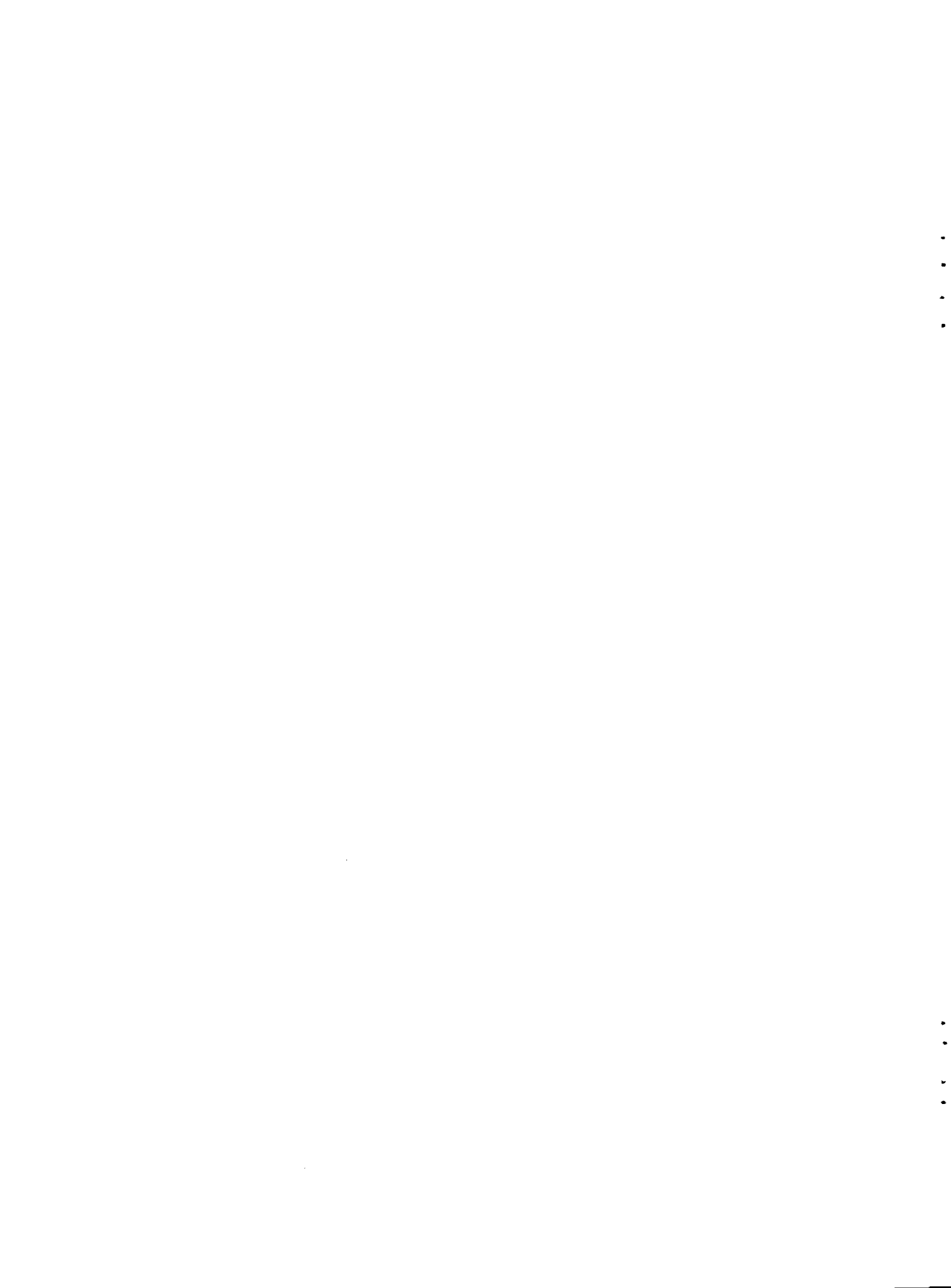
<u>Altura s.n.m. (metros)</u>	<u>Factor de corrección</u>
Hasta 1 000	1.0
De 1 000 a 1 250	0.94 - 0.91
De 1 250 a 1 550	0.91 - 0.88
De 1 550 a 2 200	0.88 - 0.85
De 2 200 a 3 100	0.85 - 0.79
Más de 3 100	0.79 - 0.70



Anexo G

NORMA DE TRABAJO CRNE -16

**Criterios de diseño mecánico para redes de subtransmisión y
transmisión de energía eléctrica**



Norma de Trabajo CRNE-16

**CRITERIOS DE DISEÑO MECANICO PARA REDES DE SUBTRANSMISION
Y TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA**

A. CLASIFICACION DE ZONAS DE CARGA MECANICA

1) ^{1/} En el Istmo Centroamericano existirán tres zonas de carga, en las cuales se calculará la presión ejercida por el viento como la correspondiente a una velocidad no menor de las que se indican a continuación:

Zona 1: 80 kilómetros por hora

Zona 2: 100 kilómetros por hora

Zona 3: 120 kilómetros por hora

La localización geográfica de las tres zonas se indica en la lámina No. 1. Las láminas No. 2 y 3 se incluyen para efectos ilustrativos.

2) Las fuerzas ejercidas por el viento sobre las superficies de las estructuras se calcularán, para cada zona de carga, como las correspondientes a presiones no menores que las indicadas en el cuadro 1, para superficies planas, cilíndricas y estructuras de tipo celosía.

3) ^{2/} En el Istmo Centroamericano existirán cuatro zonas de temperatura, en las cuales se supondrá que los conductores estarán sometidos a las siguientes temperaturas mínimas y máximas:

Zona 1: mínima 10^o C; máxima 50^o C

Zona 2: mínima -5^o C; máxima 40^o C

Zona 3: mínima 0^o C; máxima 50^o C

Zona 4: mínima 0^o C; máxima 40^o C

La localización geográfica de las cuatro zonas se indica en la lámina No.4. La lámina No. 5 se incluye como ilustración.

4) Los acápite 1, 2 y 3 anteriores constituyen un grupo de criterios fundamentales de diseño mecánico, basados en la práctica usual y en las experiencias obtenidas en los países del Istmo Centroamericano y en otras regiones y países con condiciones similares. Sin embargo, conforme se vayan obteniendo mayores datos meteorológicos en el Istmo y avancen las técnicas de laboratorio usadas en los experimentos que han dado lugar a las fórmulas empíricas usuales, deberán formularse criterios que representen más fielmente las condiciones propias de cada región.

^{1/} Esta norma modifica la norma de trabajo CRNE-10 aprobada durante la quinta reunión del Comité Regional de Normas Eléctricas.

^{2/} Ibid.

Cuadro 1

CARGAS DEL VIENTO SEGUN LA ZONA Y EL TIPO DE ESTRUCTURA^{a/}

Designación	Zona de carga		Presión del viento sobre superficies (kg/m ²)			
	Velocidad del viento (km/h)		Planas	Cilíndricas	De estructuras tipo celosía Frontal	Posterior	Total
1	80	48.7	30.7	48.7	24.3	73.0
2	100	76.0	48.0	76.0	38.0	114.0
3	120	109.5	69.2	109.5	54.8	164.3

a/ Notas:

- 1) En el cuadro 1 se asume que las superficies batidas por el viento son perpendiculares a la dirección del mismo.
- 2) Para el cálculo de las presiones del viento sobre las superficies planas se ha utilizado la fórmula empírica $P = KV^2$, en donde P = presión en kg/m², V = velocidad del viento en km/h y K = 0.0076.
- 3) En el caso de las presiones sobre las superficies cilíndricas, el valor de K usado es de 0.0048.
- 4) La presión ejercida por el viento sobre la superficie posterior de una estructura de tipo celosía se estima en un 50 por ciento de la presión sobre la cara frontal. Esto se debe al efecto de escudo contra el viento que presenta la cara frontal de la torre sobre la posterior. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que en estructuras muy grandes este efecto puede disminuir considerablemente. En igual forma, la presión total calculada con base en este criterio, no necesita ser mayor que la que ocurriría en una estructura sólida de las mismas dimensiones externas.
Puede usarse un método de cálculo más exacto.

B. RESISTENCIA MECANICA

Las líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica, deberán tener resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas a que puedan estar sometidas y que razonablemente puedan anticiparse, con los factores de seguridad y de sobrecarga que se establecen más adelante.

1. Bases para el cálculo de las cargas

a) Cargas de conductores

Para calcular la tensión mecánica de los conductores, se considerará como la carga total la resultante del peso del conductor y de la fuerza producida por el viento, actuando horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea, a la temperatura mínima, de acuerdo con las bases establecidas en el acápite A anterior, para la zona que corresponda.

b) Cargas en postes o estructuras de soporte

La carga que actúe sobre los postes o estructuras de soporte y sobre todo el material usado para sostener los conductores, se calculará como sigue:

i) Carga vertical. La carga vertical sobre postes, torres, cimientos, crucetas, espigas, aisladores y dispositivos de sujeción se considerará como su propio peso, más el de todos los conductores, cables y equipo que soporten, teniendo en cuenta los efectos que puedan resultar de diferencia de elevación entre soportes de conductores de estructuras inmediatas.

Cuando el poste o estructura de soporte esté anclado, se tomará en cuenta la componente vertical de la tensión a que esté sometido el anclaje.

ii) Carga transversal. La debida al viento soplando horizontalmente y en ángulo recto a la dirección de la línea, para todas las superficies cilíndricas o planas del poste o estructura y conductores soportados, según las bases establecidas en la sección A anterior, para la zona que corresponda y de acuerdo con el tipo de estructura.

La carga transversal sobre cualquier poste o estructura podrá calcularse usando el promedio de los vanos siempre que este promedio no difiera en más del 25 por ciento de los vanos a un lado y otro del poste o estructura de que se trate.

En cruzamientos con ferrocarriles, con carreteras principales o con conductores de comunicación, la carga transversal sobre el poste o estructura deberá calcularse considerando la distancia interpostal real.

iii) Carga longitudinal. En general, no es necesario considerar carga longitudinal en los postes o estructuras comprendidos en tramos rectos de líneas, donde no cambie la tensión mecánica de los conductores a uno y otro lado de los postes o estructuras.

En los remates, la carga longitudinal se considerará igual a la suma de las tensiones máximas de trabajo de todos los conductores que rematan en el poste o estructura, incluyendo hilos de guarda.

iv) Cambio de dirección de la línea. La carga debida a la tensión de los conductores y al viento, en los postes y estructuras de soportes y sus retenidas, instalados donde la línea cambie de dirección, se considerará igual a la resultante de las tensiones de los conductores, originadas por el cambio de dirección de la línea, sumándole aritméticamente a esta resultante la fuerza del viento calculada como si la línea fuera recta.

Puede usarse un método de cálculo más exacto.

v) Aplicación simultánea de cargas

- 1) Al calcular la resistencia a las fuerzas transversales, se supondrá que las cargas vertical y transversal actúan simultáneamente;
- 2) Al calcular la resistencia a las fuerzas longitudinales para la aplicación de retenidas, no se tomarán en cuenta las cargas vertical y transversal;
- 3) En casos en que sea necesario, deberá hacerse un análisis de resistencia tomando en cuenta la aplicación simultánea de las cargas vertical, transversal y longitudinal.

2. Requisitos mínimos para la construcción de líneas

En el cuadro 2 se especifican los coeficientes de seguridad y de sobrecarga y otros requisitos mínimos que se deberán cumplir en la construcción de líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica.

Al calcular los esfuerzos a que esté sometido un poste o estructura de soporte y todos sus accesorios, no se deberán tomar en consideración las deformaciones causadas por la aplicación de las cargas, a menos que el método de cálculo haya sido previamente aprobado por el organismo nacional competente.

Cuadro 2

REQUISITOS MINIMOS PARA LA CONSTRUCCION DE LAS LINEAS

I. Definiciones

- 1) Coeficiente de seguridad: Se define como el cociente entre la resistencia última (madera, cables y conductores, hilos de guarda) o la resistencia en el límite de fluencia (acero o aluminio), y la carga máxima de trabajo.
- 2) Coeficiente de sobrecarga: Se define como el cociente entre la carga máxima aplicable a una estructura sin que ninguno de sus componentes sufra deformaciones permanentes, y la carga máxima de trabajo.

II. Conductores suministradores

Coeficiente de seguridad calculado como el cociente entre la resistencia última de los conductores y la carga máxima de trabajo según las condiciones especificadas en B-1-a) 1.7

III. Hilos de guarda

Coeficiente de seguridad calculado como el cociente entre la resistencia última del cable y la carga máxima de trabajo según las condiciones especificadas en B-1-a). 1.7

IV. Postes y estructuras

Los postes y estructuras deberán resistir las cargas especificadas en B-1-b), con los coeficientes de sobrecarga que se indican a continuación.

/y además

y además cumplirán con las disposiciones adicionales que se señalan en cada caso. Cuando los postes estén sujetos a deformación considerable en la dirección de la línea, será necesario aumentar las separaciones normales especificadas en el capítulo C más adelante, o instalar retenidas o refuerzos especiales para evitar tal deformación.

1) Postes de concreto

Los postes de concreto deben soportar sin deformación permanente las cargas máximas calculadas según el inciso B-1-b) multiplicadas por los coeficientes de sobrecarga que se indican a continuación:

- a) Resistencia vertical 2.0
- b) Resistencia transversal (viento) 2.0
- c) Resistencia longitudinal 2.0

Nota: En postes de remate las cargas longitudinales se aplicarán independientemente de las cargas verticales y transversales.

d) Resistencia en ángulos.

La resistencia del poste será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal (viento) con un factor de sobrecarga de 2.0
y la carga resultante del cambio de dirección de conductores con un factor de sobrecarga de 1.5

2) Postes y estructuras de acero o aluminio

Los postes y estructuras deberán soportar sin deformación permanente las cargas máximas calculadas según el inciso B-1-b) multiplicadas por los coeficientes de sobrecarga que se indican a continuación:

- a) Resistencia vertical 1.3
- b) Resistencia transversal (viento) 2.5
- c) Resistencia longitudinal 1.7

Nota: En postes y estructuras de remate las cargas longitudinales se aplicarán independientemente de las cargas verticales y transversales.

d) Resistencia en ángulos

La resistencia del poste o estructura será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal del viento con un

factor de sobrecarga de	2.5
y la carga resultante del cambio de dirección de conductores con un factor de sobrecarga de	1.7

3) Estructuras de acero

Para estructuras de acero no deberá usarse material más delgado que el siguiente expresado en milímetros:

- a) En lugares donde la pintura o cubierta protectora se deteriore con rapidez, como en las costas.
 - i) En miembros principales 6
 - ii) En otros miembros 4
- b) En otros lugares
 - i) En miembros principales 4
 - ii) En otros miembros 3

4) Otros requisitos

- a) Las partes empotradas de postes y estructuras de acero deberán protegerse contra la corrosión mediante alguna cubierta o protección adecuada, que cubra al poste o estructura por lo menos 50 cm arriba y abajo del nivel del suelo.
- b) Los postes y estructuras de acero deberán conectarse a tierra en forma efectiva, a menos que estén protegidos adecuadamente para evitar contactos accidentales de personas.

5) Postes de madera

Los postes de madera deben soportar sin deformación permanente las cargas máximas calculadas según el inciso B-1-b), multiplicadas por los coeficientes de seguridad, basados en resistencia última, que se indican a continuación: 3/ 4/

- a) Resistencia vertical y transversal:
 - Al instalarse 4.0
 - Se conservarán a no menos de 3.0

3/ Se considera que los postes de pino y cedro tienen una resistencia máxima aproximada de 400 kg por centímetro cuadrado. Sin embargo, deberán usarse preferentemente valores de resistencia máxima que se obtengan en pruebas experimentales en los postes de que se trata.

4/ Estos factores de seguridad se aplican a madera seleccionada y debidamente tratada. Sin embargo, cuando se carezca de información experimental adecuada, se recomienda utilizar un factor mínimo de seguridad de 4.

- b) Resistencia longitudinal:
 - Al instalarse 2.0
 - Se conservarán a no menos de 1.5

c) Resistencia horizontal en ángulos:

La resistencia del poste será suficiente para soportar la combinación de la carga transversal del viento multiplicada por 2.0 y la carga resultante del cambio de dirección de los conductores.

Se aplicarán los siguientes factores de seguridad mínimos:

- Al instalarse 2.0
- Se conservarán a no menos de 1.5

Requisitos adicionales en cruzamientos con vías férreas

- 1) Debe procurarse no variar la dirección de la línea al cruzar la vía.
- 2) Se recomienda que en el cruzamiento la distancia interpostal sea tan corta como sea posible; pero se procurará que las estructuras de soporte disten de la vía cuando menos el equivalente a su altura.
- 3) Los amarres en soportes deberán ser de suficiente resistencia para evitar que el conductor se corra hacia el tramo del cruzamiento.
- 4) Se deberá usar remates en ambos lados de la vía.

VI. Aisladores de suspensión

La resistencia mecánica de los aisladores de suspensión debe ser igual o mayor a la requerida para el conductor en que se encuentran instalados.

VII. Cimientos

Las cimentaciones de las estructuras de acero serán diseñadas y construidas para soportar los esfuerzos debidos a las cargas calculadas según la sección B-1), con un coeficiente de seguridad relativo a los esfuerzos máximos de levantamiento y de vuelco de. 2.5

Se recomienda dar un mayor coeficiente de seguridad en aquellos lugares en que la resistencia del terreno pueda variar por inundaciones u otras causas.

/VIII. Retenidas

VIII. Retenidas

Las retenidas deberán tener un coeficiente de seguridad basado en su resistencia última bajo las cargas especificadas en el inciso B-1-b) no menor de:

- 1) Para cargas transversal de la línea al instalarse 2.5
- 2) Para carga longitudinal en la línea, en cualquier tiempo . . . 2.0
- 3) En remates. 2.0
- 4) Para carga en ángulos, en cualquier tiempo 2.2

**C. DISTANCIAS MINIMAS ENTRE PARTES CALIENTES
Y ENTRE ESTAS Y TIERRA**

1. Altura de conductores sobre el piso o vías férreas

El cuadro 3 especifica los claros mínimos verticales de los conductores sobre el piso o rieles, que se recomiendan para líneas de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica.

Cuadro 3

ALTURA MINIMA DE CONDUCTORES SOBRE EL PISO O RIELES ^{a/}

Clase de piso o rieles sobre los que pasan los conductores	Alturas mínimas en metros para :				
	46 kV	69 kV	115 kV	138 kV	230 kV
Vías férreas	9.7	10.0	10.7	10.7	11.8
Carreteras	7.6	7.9	8.5	8.5	9.5
Lugares no transitados por vehículos	5.8	6.1	6.7	7.0	8.3
Campos cultivados	6.1	6.4	7.0	7.3	8.5
A lo largo de caminos en distritos rurales	6.7	7.0	7.6	7.9	9.1

^{a/} 1) Con la flecha final, a la temperatura máxima según la zona y sin viento; 2) Las plantillas deben cortarse para suministrar una altura de 30 cm mayor que la indicada en el cuadro; 3) Este cuadro rige para cualquier longitud de vano.

2. Separación entre conductores que se crucen

El cuadro 4 especifica las separaciones mínimas entre conductores que se crucen. En los casos de cruzamiento de conductores soportados por aisladores de suspensión sobre líneas de comunicación, la separación deberá aumentarse lo suficiente para que en caso de que se rompa uno de los conductores en los tramos adyacentes, los conductores que se crucen conserven la separación indicada en el cuadro 4.

Cuadro 4

SEPARACION ENTRE CONDUCTORES QUE SE CRUCEN^{a/}

Conductores sobre los que se cruza	Separación vertical mínima (metros)				
	46 kV	69 kV	115 kV	138 kV	230 kV
Líneas de comunicación	2.4	2.7	3.4	3.4	4.5
Líneas suministradoras hasta 50 kV ^{b/}	1.8	2.1	2.7	2.7	3.6

a/ 1) Con la flecha final, a la temperatura máxima según la zona y sin viento, para los conductores superiores; 2) Los conductores inferiores a su flecha inicial, sin viento.

b/ En los cruces con conductores de más de 50 kV, se aumentará la separación vertical mínima a razón de 1 cm por cada kV en exceso de 50 kV.

3. Separación, en cualquier dirección, de los conductores a sus soportes y a retenidas sujetas a los mismos soportes

Las condiciones de voltaje que deben considerarse para determinar las separaciones requeridas en el diseño de una línea son las siguientes:

a) Voltajes de 60 hertz: Voltajes nominal y real de operación y tensiones eléctricas de falla.

b) Voltajes de impulsos: Operación de interruptores y otros sobrevoltajes transitorios y rayos.

El nivel de aislamiento normal de una línea, debe eliminar los arcos debidos a voltajes de 60 hertz, y suministrar una protección adecuada contra los impulsos.

Los sobrevoltajes producidos por la operación de interruptores son de importancia primordial para determinar las separaciones eléctricas requeridas en las estructuras de las líneas. Por lo general, muy pocos de ellos exceden 2.5 veces el valor máximo de operación de la línea con respecto al neutro del sistema.

En los cuadros 5 y 6 se han tomado en cuenta las características de arco de los aisladores, así como la probabilidad de que ocurran impulsos bajo condiciones de desviación momentánea de las cadenas de aisladores.

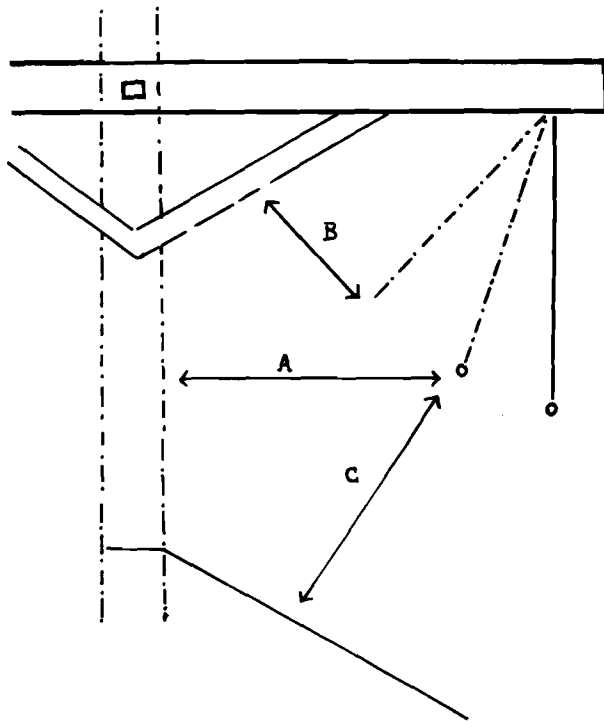
Cuadro 5

SEPARACION, EN CUALQUIER DIRECCION, DE LOS CONDUCTORES A SUS SOPORTES Y A RETENIDAS SUJETAS A LOS MISMOS SOPORTES

Voltaje nominal de la línea (kV)	Separaciones mínimas (cm)			A rete- nidas
	A los soportes			
	Normal <u>a/</u>	Cadena a 30° <u>b/</u>	Peor condición <u>c/</u>	
46	48.5	33.0	30.5	53.5
69	63.5	45.5	38.0	79.0
115	106.5	76.0	66.0	124.5
138	127.0	91.5	84.0	147.5
230	208.0	150.0	152.5	241.0

- a/ Esta separación es aproximadamente igual a la distancia de arqueado en seco de la cadena de aisladores que corresponde a los requisitos mínimos de nivel de aislamiento.
- b/ Esta separación se aplica a conductores fijados a aisladores tipos espiga y poste, y a los de suspensión cuando la cadena de aisladores tiene una oscilación de 30° con respecto a la vertical.
- c/ Se aplica a conductores fijados a cadenas de aisladores de suspensión, en la peor condición de operación, que debe ocurrir con muy poca frecuencia y por cortos períodos de tiempo. Esta separación debe resistir sobrevoltajes producidos por operación de interruptores. (Ver cuadro 6.)

Las separaciones entre los conductores de una línea y sus soportes, así como entre éstos y los cables de retenidas sujetos a los mismos soportes están especificados en el cuadro 5, en función de los diferentes voltajes nominales de los sistemas de subtransmisión y transmisión, y se ilustran en el dibujo siguiente.



Separaciones mínimas

- A. Condición normal (a la temperatura mínima según la zona, y sin viento)
- B. Cadena a 30°
- C. A retenidas

4. Separación requerida entre conductores y estructuras para resistir sobrevoltajes debidos a la operación de interruptores

El cuadro 6 indica las bases para determinar la separación mínima requerida entre conductores y sus estructuras de soporte, para resistir los sobrevoltajes que se producen con la operación de interruptores, en sistemas con neutro a tierra. También se indica dicha separación mínima para cada voltaje nominal de subtransmisión y transmisión.

Cuadro 6

SEPARACION MINIMA ENTRE CONDUCTORES Y ESTRUCTURAS PARA RESISTIR SOBREVOLTAJES PRODUCIDOS POR LA OPERACION DE INTERRUPTORES (SISTEMAS CON NEUTRO A TIERRA)

Nominal	Voltajes en kV		Separación mínima entre conductores y estructuras (cm)
	Línea a tierra	Aislamiento al impulso <u>a/</u>	
46	26.6	152	20.5
69	39.8	229	32.0
115	66.4	381	57.0
138	79.7	457	70.0
230	132.8	762	123.0

a/ Este es un valor de diseño que se obtiene multiplicando el voltaje de línea a tierra por un coeficiente obtenido de diferentes factores de seguridad que deben considerarse, tales como el correspondiente al máximo voltaje de operación, a sobrevoltajes producidos por diferentes causas, condiciones anormales en la atmósfera, etc.

5. Separación mínima entre conductores en sus soportes, en postes o estructuras

La separación entre conductores debe ser suficiente para proveer espacios adecuados para los trabajadores en las estructuras de soporte y para prevenir contactos accidentales y arcos entre dos conductores.

Para determinar la relación que debe existir entre la flecha, el voltaje y la separación entre conductores deben tomarse en cuenta la experiencia y las condiciones locales.

a) Separación horizontal

La separación horizontal entre conductores en sus soportes, en ningún caso deberá ser menor que la distancia dada por la fórmula siguiente a la temperatura máxima, según la zona y sin viento:

$$S = (0.762) (kV) + (1.15 \cdot \sqrt{30.5^\circ F}) + (0.71) (L)$$

En la cual

- S Separación entre conductores en centímetros
- kV Voltaje nominal entre fases de la línea
- F Flecha final en centímetros, a la temperatura máxima
- L Longitud de la cadena de aisladores, en centímetros.

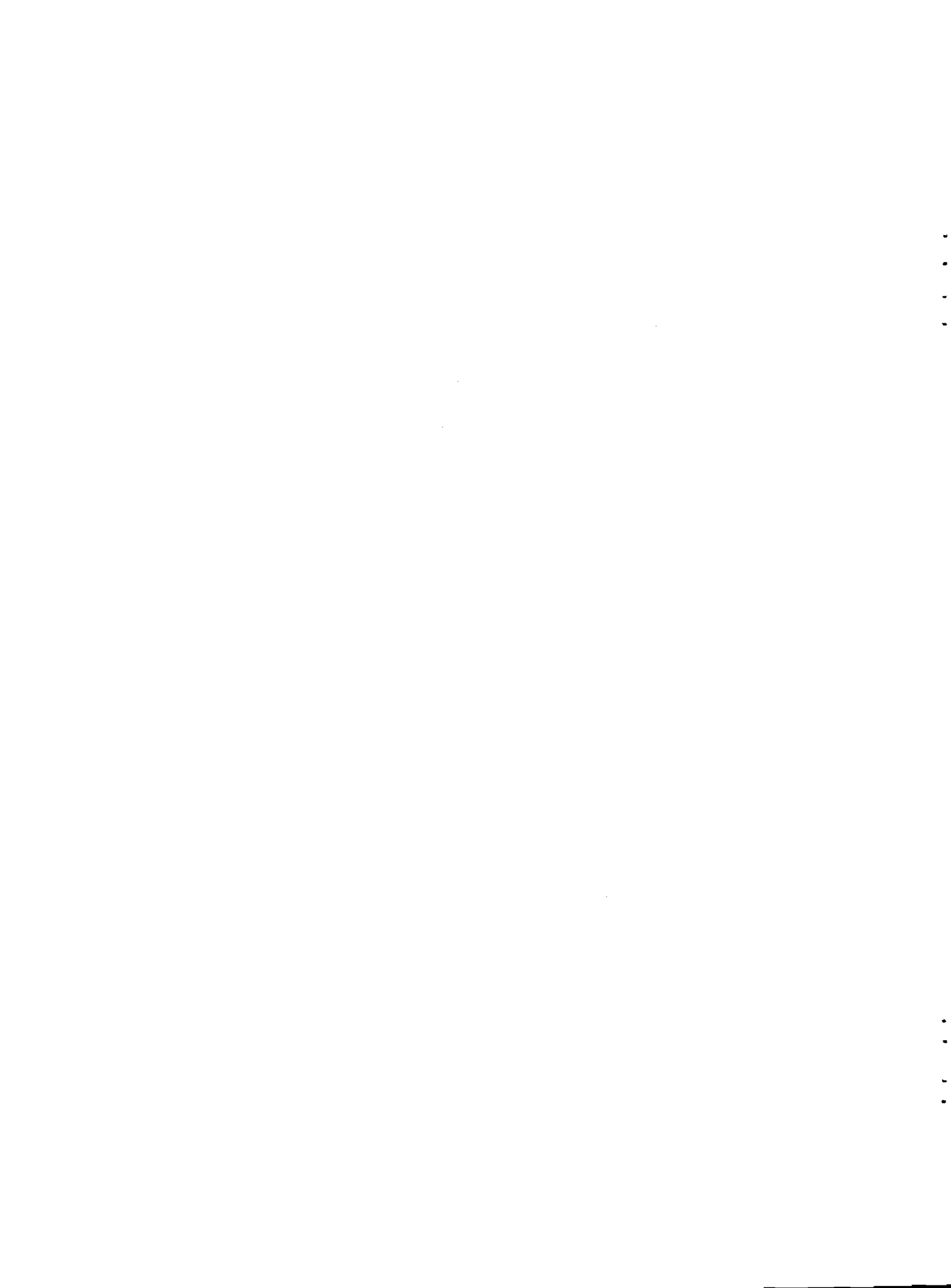
b) Separación vertical

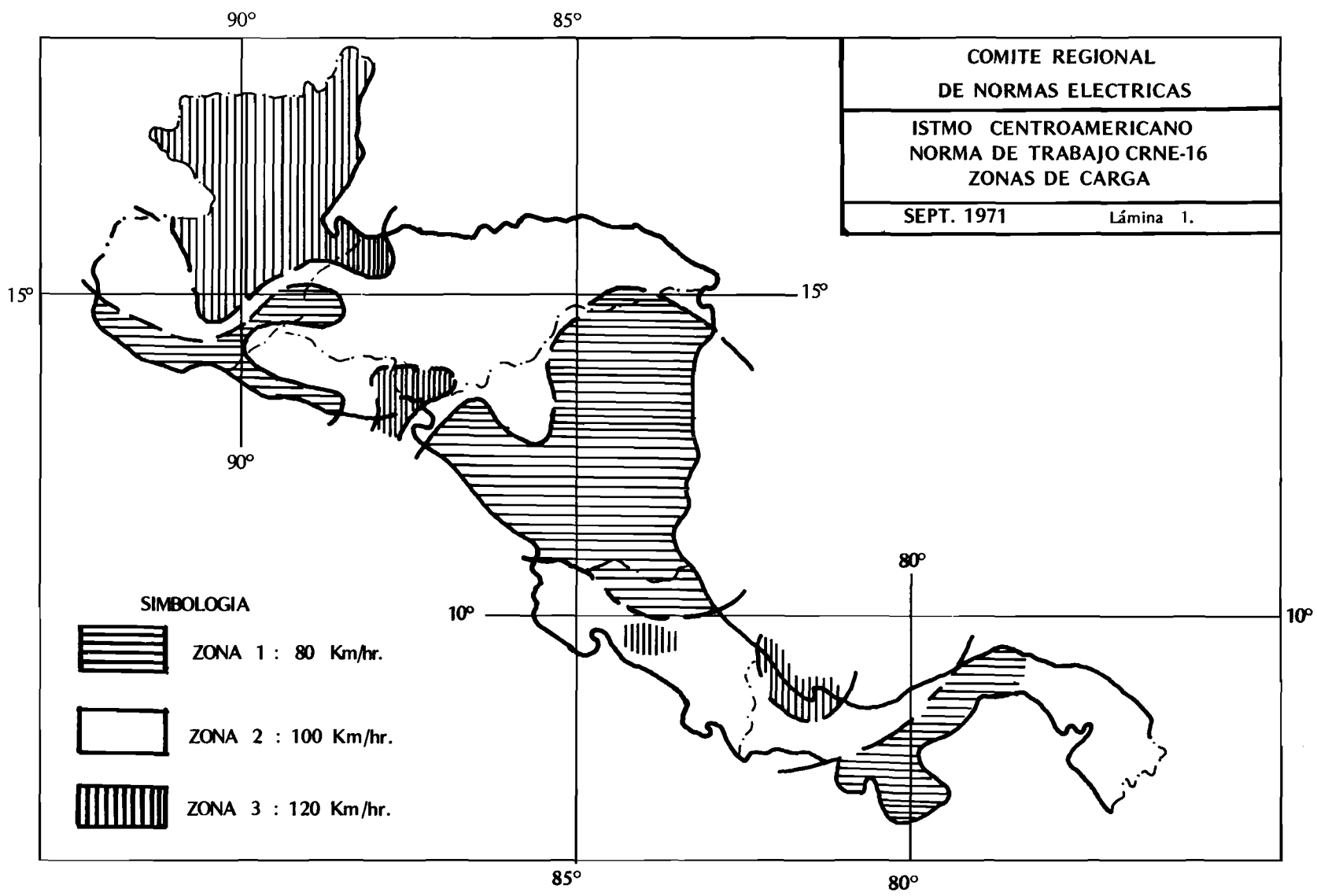
La separación vertical entre conductores en sus soportes, en ningún caso deberá ser menor que la especificada en el cuadro 7.

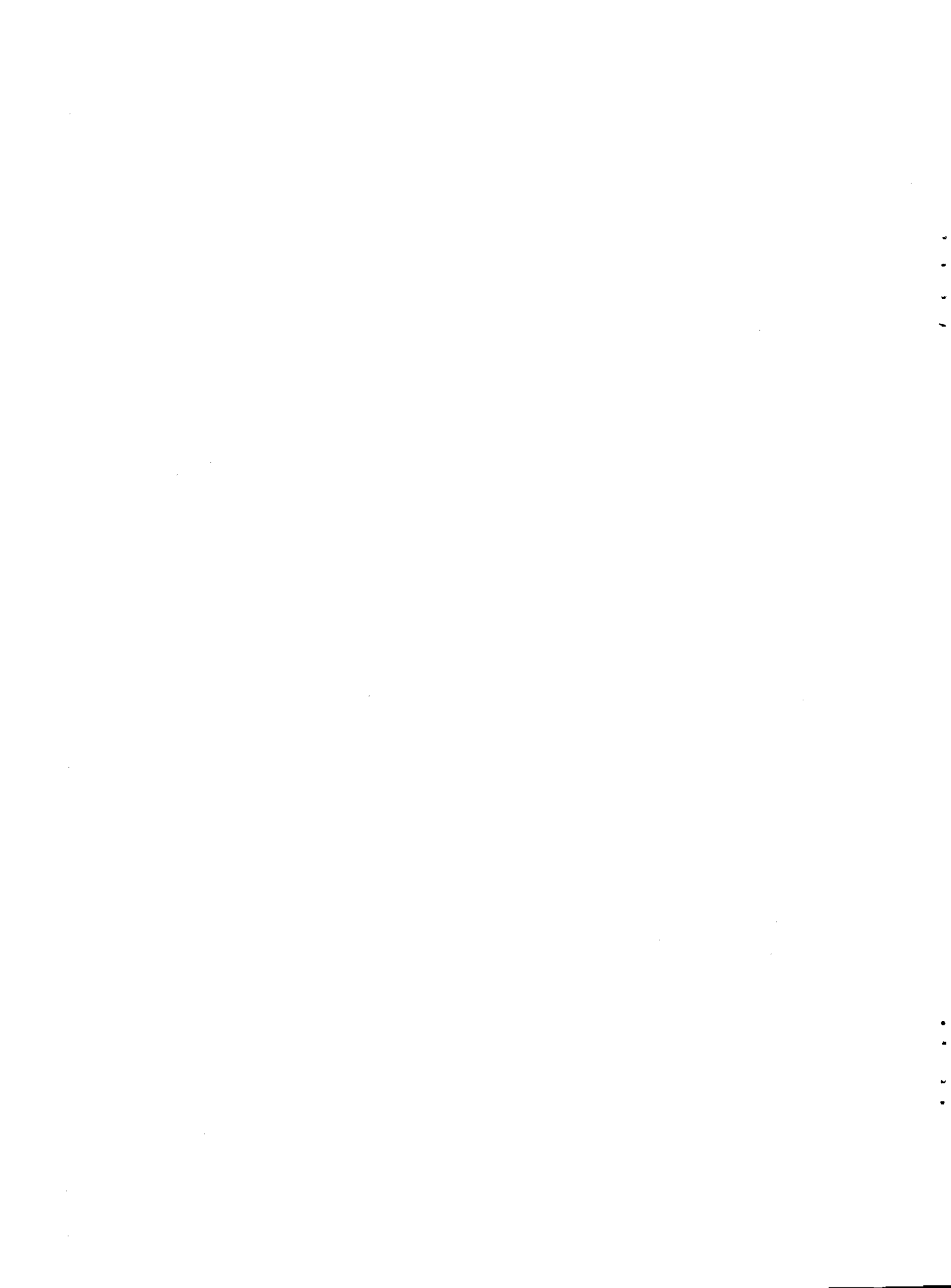
Cuadro 7.

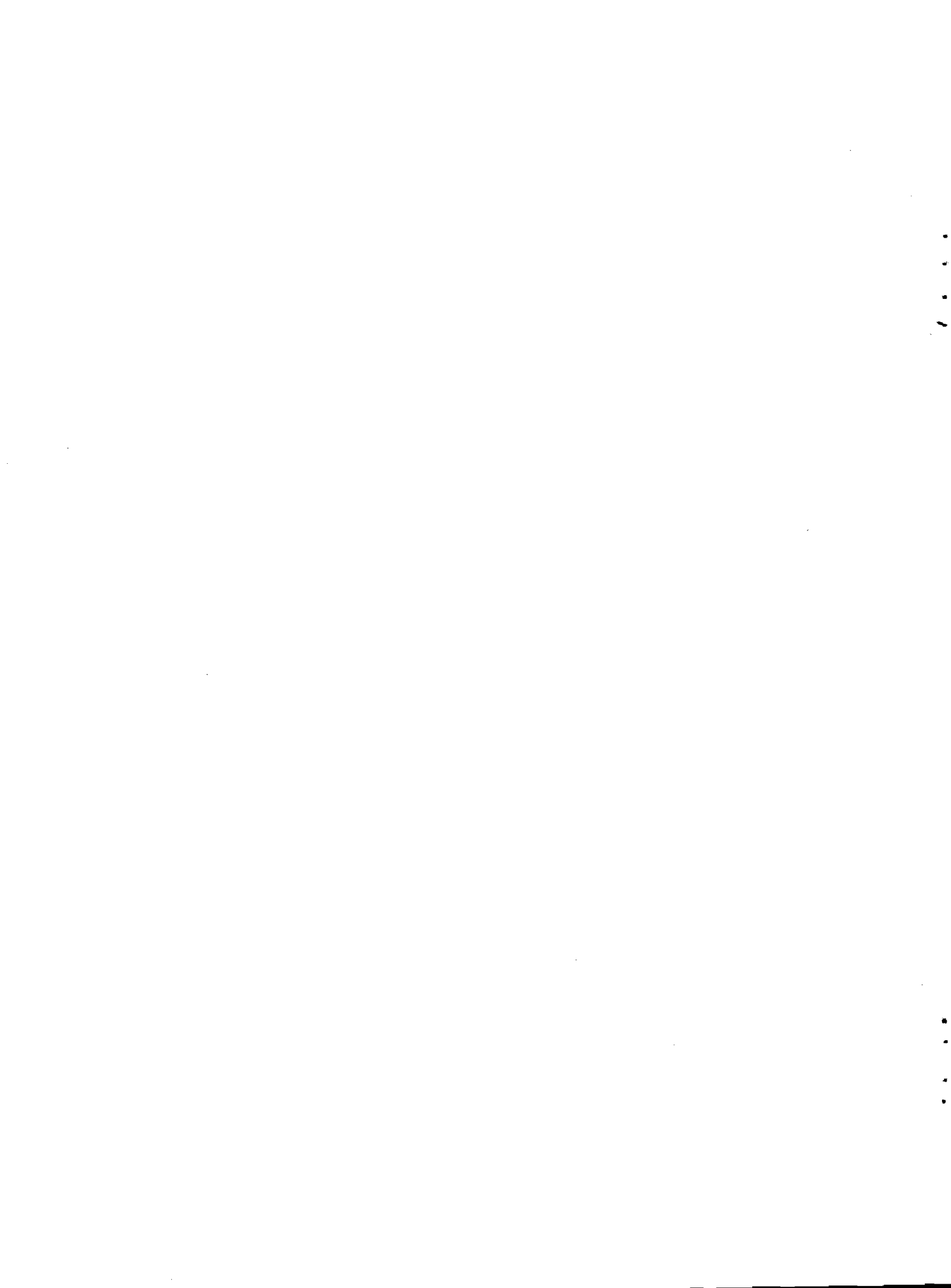
SEPARACION VERTICAL MINIMA ENTRE CONDUCTORES EN SUS SOPORTES

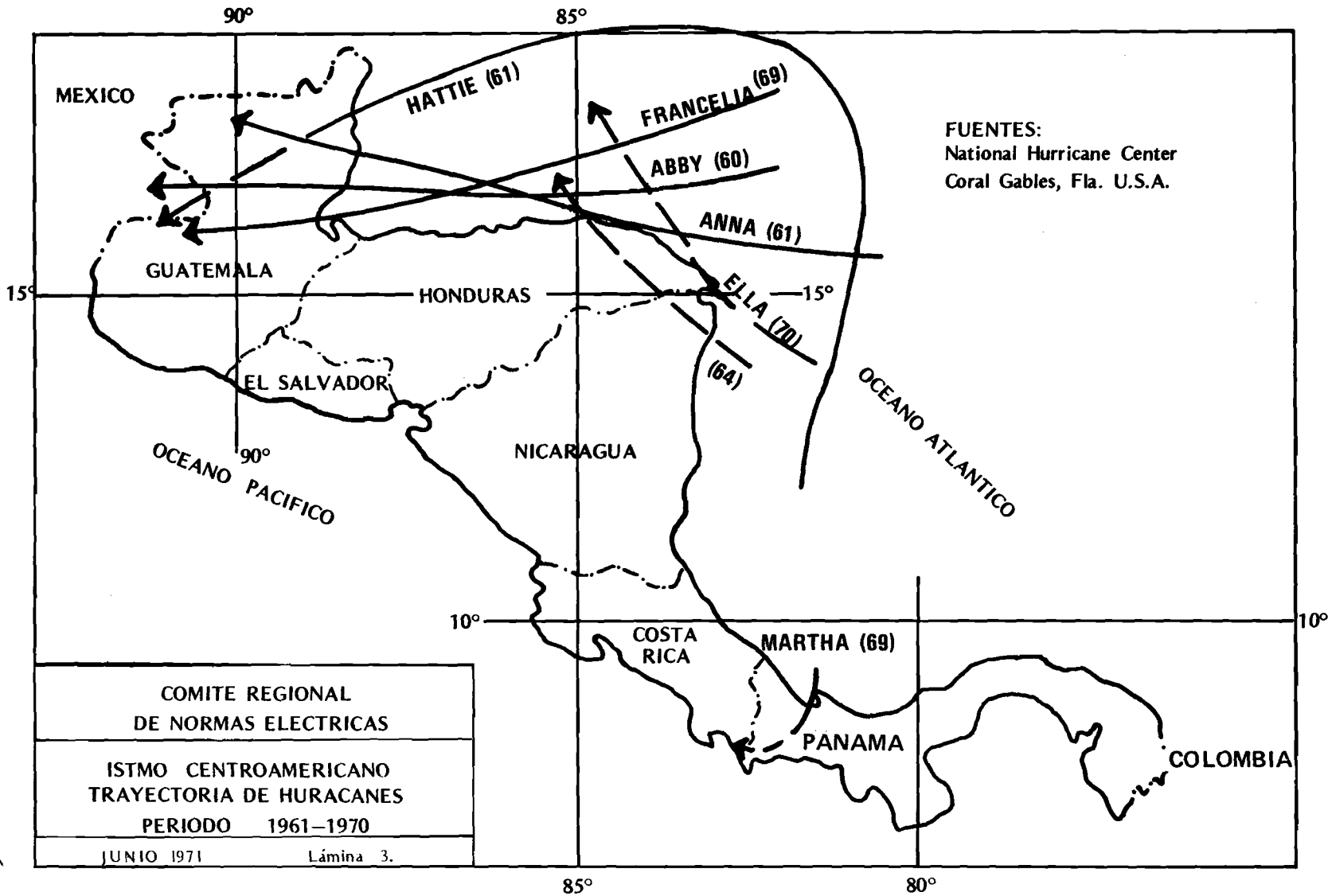
Voltaje nominal entre fases (kV)	Separación vertical mínima (metros)
46	1.20
69	1.40
115	1.90
138	2.10
230	3.00

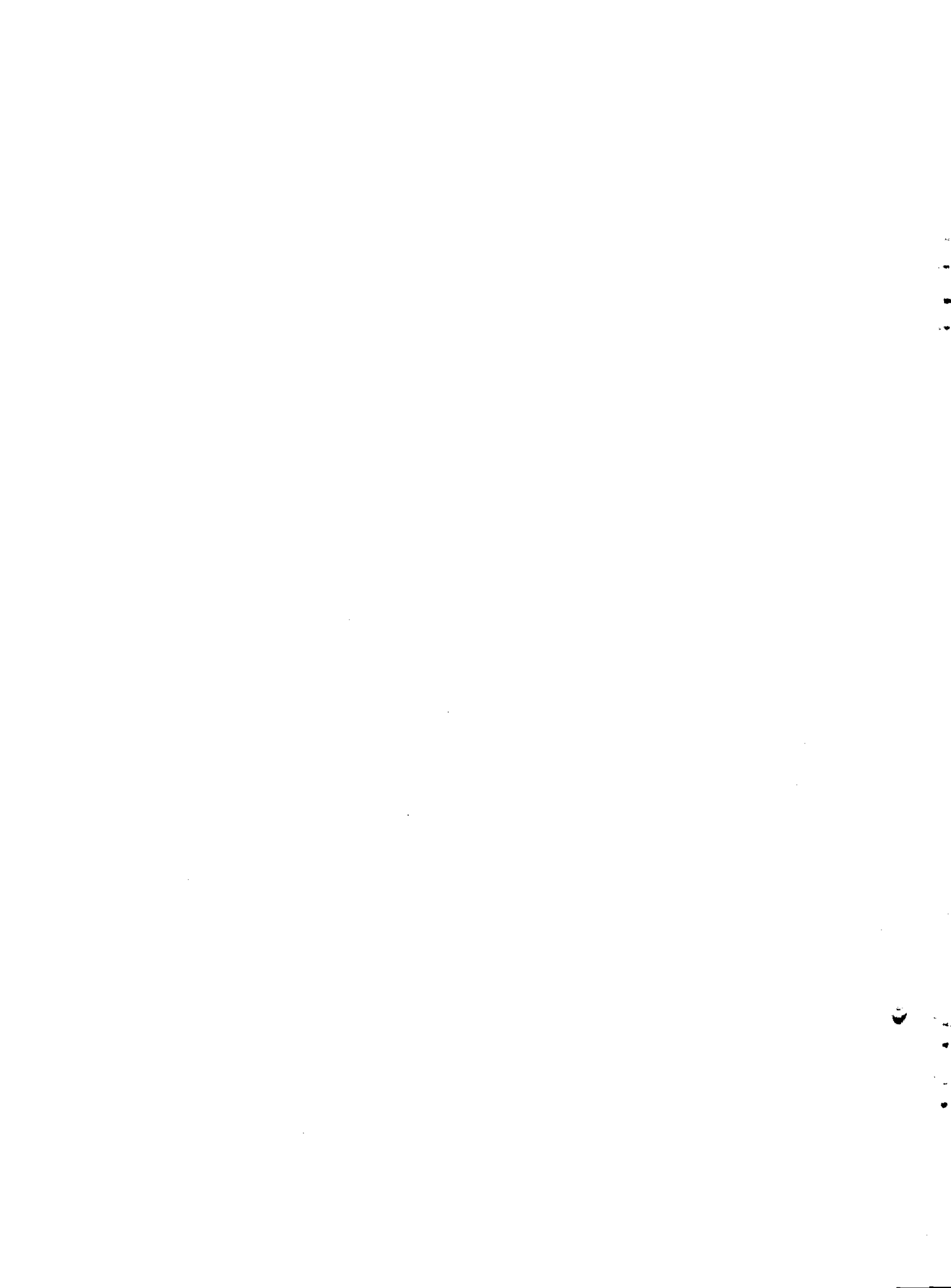


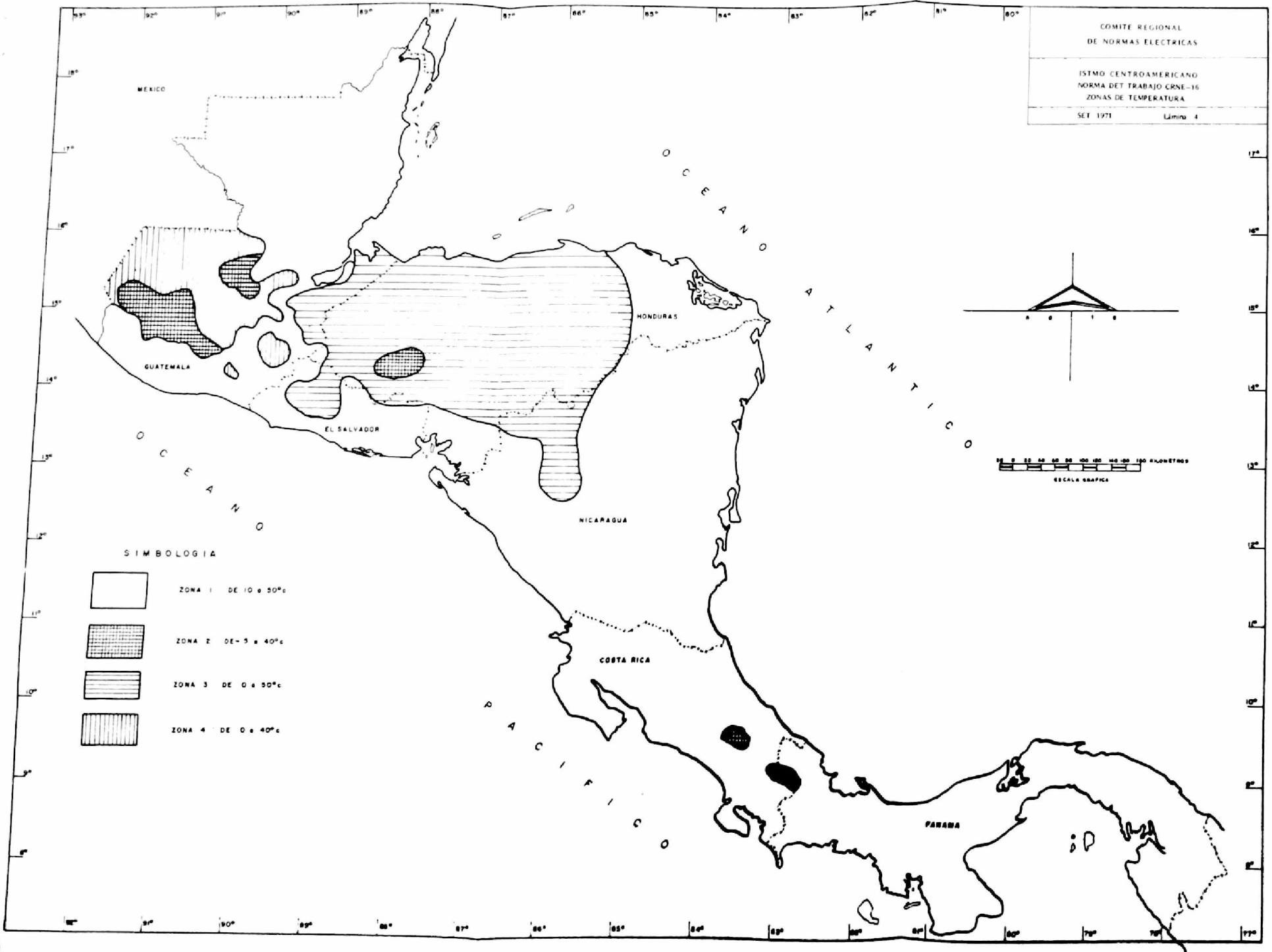


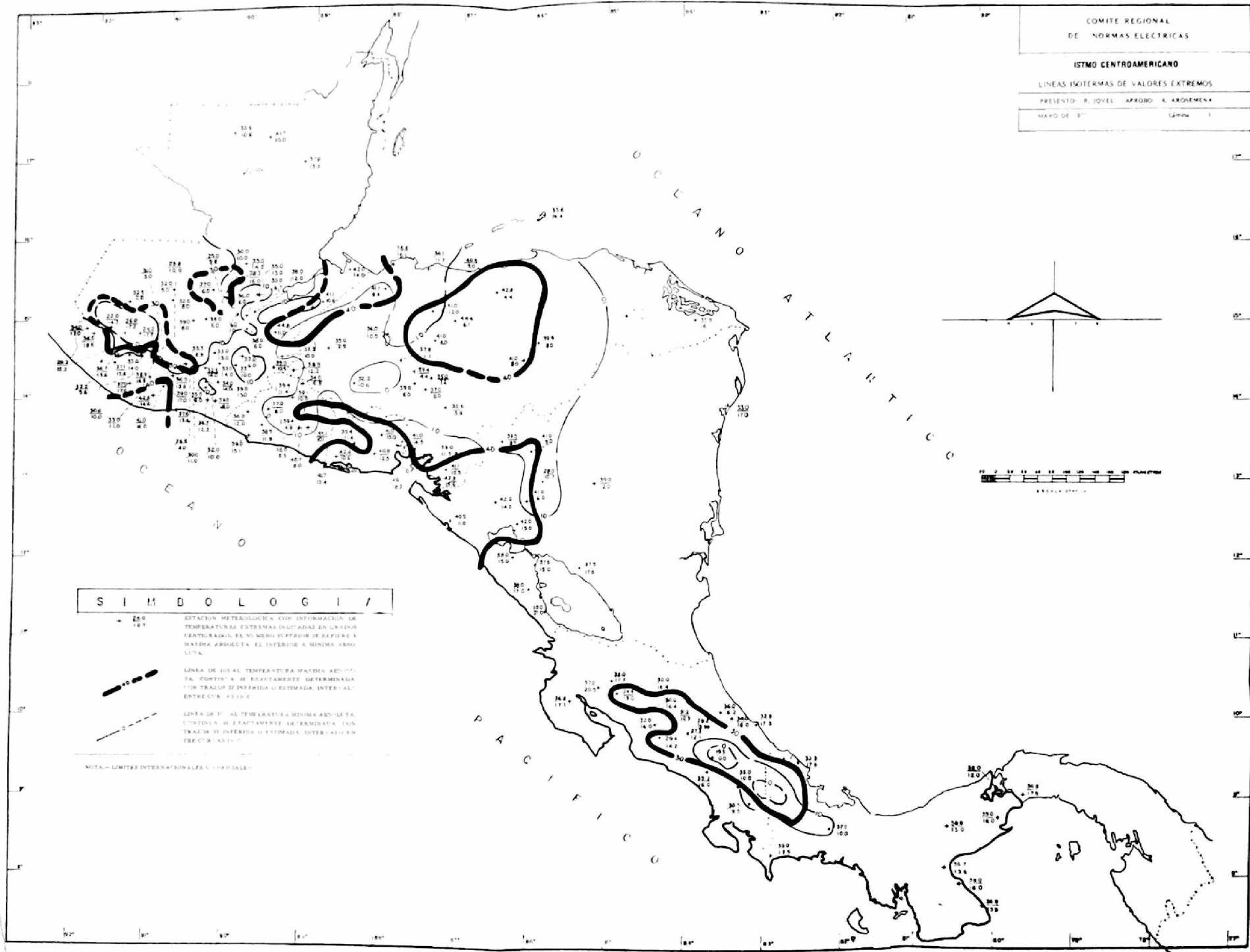












S I M B O L O G I A

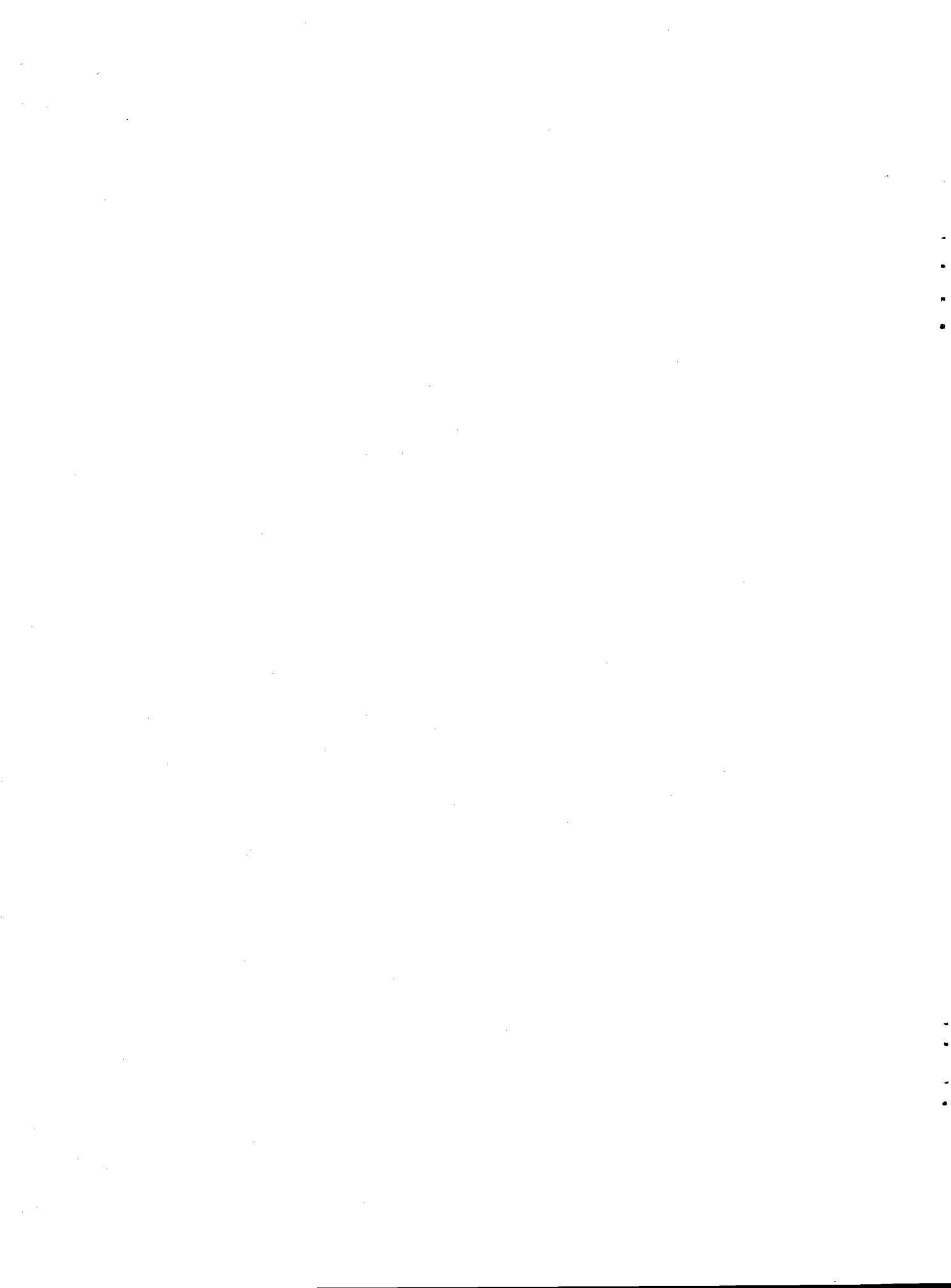
- ESTACION METEOROLOGICA CON INFORMACION DE TEMPERATURAS EXTREMAS INDICADAS EN UNIDAD CENTIGRADA. EL NUMERO SI ESTABA DE REFIRIR A MAXIMA ABSOLUTA EL INTERIOR A MINIMA ABSOLUTA.
- LINEA DE 10°C AL TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA CONTINUA SI EXACTAMENTE DETERMINADA CON TRAZOS DE INTERVALO ESTIMADA INTERNAMENTE CON +3.10°C
- - - LINEA DE 15°C AL TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA CONTINUA SI EXACTAMENTE DETERMINADA CON TRAZOS DE INTERVALO ESTIMADA INTERNAMENTE CON +3.10°C

NOTA: LÍMITES INTERNACIONALES 1:1000000

Anexo H

NORMA DE TRABAJO CRNE- 23

Criterios de diseño y especificaciones de equipo y materiales
para el alumbrado público



INDICE

	<u>Página</u>
1. Alumbrado público de calzadas	123
2. Principios de visión	123
a) Requisitos para los conductores	123
b) Campo visual del conductor	124
c) Visibilidad	126
d) Deslumbramiento y comodidad visual	127
3. Criterios de calidad	127
a) Nivel de luminancia y/o nivel de iluminación	127
b) Uniformidad de luminancia y/o de iluminación	128
c) Limitación del deslumbramiento	128
d) Guía óptica	128
4. Lámparas y luminarias	128
a) Lámparas	128
b) Luminarias	135
5. Clasificación de superficies	150
6. Clasificación de áreas, calzadas y poblaciones	151
a) Areas	151
b) Calles	152
c) Poblaciones	152
7. Valores recomendados	153
a) Valores de niveles de luminancia e iluminación recomendados	153
b) Niveles de uniformidad	155
c) Limitación del deslumbramiento	155
d) Recomendaciones para guías ópticas	158
8. Métodos y criterios de diseño	159
a) Cálculo de la luminancia promedio	160
b) Cálculo de la iluminación promedio	162
c) Cálculo de la iluminación en un punto	164

	<u>Página</u>
d) Tipos de arreglo	164
e) Cálculo del índice de deslumbramiento	165
f) Altura de montaje	165
g) Espaciamientos máximos	168

Norma de Trabajo CRNE-23

CRITERIOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE EQUIPO Y MATERIALES PARA EL ALUMBRADO PUBLICO

1. Alumbrado público de calzadas

El principal objetivo del alumbrado público de calzadas es permitir a peatones y automovilistas transitar por ellas durante la noche con la mayor seguridad y comodidad posibles, y facultar a los conductores a distinguir y localizar con certeza y a tiempo el alineamiento de la calzada, las señales de tráfico, los posibles obstáculos y otros detalles de importancia y a los peatones a percibir las orillas de las aceras, los vehículos y los obstáculos.

Las obras necesarias para lograr estos propósitos deberán ser realizadas tomando en cuenta la ubicación y la intensidad de tráfico de la vía, pero sin perder de vista los aspectos de estética y economía.

Los beneficios que se derivan de un buen sistema de alumbrado público son numerosos y entre ellos se pueden citar los siguientes:

- a) Reducción considerable de daños a la vida y a la propiedad;
- b) Disminución de la delincuencia;
- c) Incremento de la capacidad de tráfico;
- d) Incentivo a los negocios e industrias en horas nocturnas;
- e) Estímulo al espíritu de la vida comunitaria;
- f) Ahorros por disminución de daños a bienes y pérdidas de horas de trabajo.

2. Principios de visión

a) Requisitos para los conductores

Las calles y caminos deberán ser visibles en todo momento, y se deberán poder percibir claramente sus detalles (bordes del camino y de las aceras, intersecciones de caminos laterales y señales de tráfico). Deberán contar también con una guía visual que indique claramente su alineamiento. Esta guía podrá consistir en el tipo y/o color de las luminarias, así como en su configuración.

Cualquier objeto que pueda consistir un peligro deberá verse y reconocerse con claridad a una distancia suficiente para permitir al conductor maniobrar sin peligro para él o para los demás.

Aun cuando no existan obstáculos, la calzada deberá presentarse de manera tal que el conductor tenga la certeza de que está despejada, lo que le proporcionará comodidad visual y evitará la fatiga nerviosa que puede ser de peligro.

El alumbrado deberá ser uniforme y dar la apariencia de continuidad. Los puntos críticos como curvas, puentes, cruces a desnivel, túneles, etc. se proveerán de alumbrado especial, pero sin alterar la apariencia de continuidad del alumbrado general.

Los rótulos de dirección, retenidas, etc., deberán iluminarse adecuadamente ya sea por medio de la instalación general o por equipos especiales, procurando siempre que no provoquen deslumbramiento.

b) Campo visual del conductor

El campo visual del conductor, en orden decreciente de importancias es: 1) la calzada o pista de rodaje; 2) las orillas del camino o aceras, incluyendo las señales de tráfico, y 3) el cielo y las luminarias. Cualquier obstrucción en el camino deberá ponerse de manifiesto claramente en el campo visual.

La percepción y la rapidez de percepción están directamente relacionadas con las luminancias y contrastes por lo que deberán conocerse los fenómenos que los producen.

i) Luminancia. La luminancia de la calzada resulta de la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias, por la geometría de su instalación, y por las características de reflexión de la superficie.

Luminancia es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada, por unidad de área proyectada de la superficie en esa dirección. Una superficie que emite o refleja luz en una dirección determinada a razón de una candela (cd) por metro cuadrado tiene una luminancia de 1 cd/m^2 .

ii) Luminancia en un punto de la superficie de la calzada. La luminancia (L) de un punto (P) visto desde "O" es proporcional a la iluminación y a la reflectancia:

$$L = \rho \times E$$

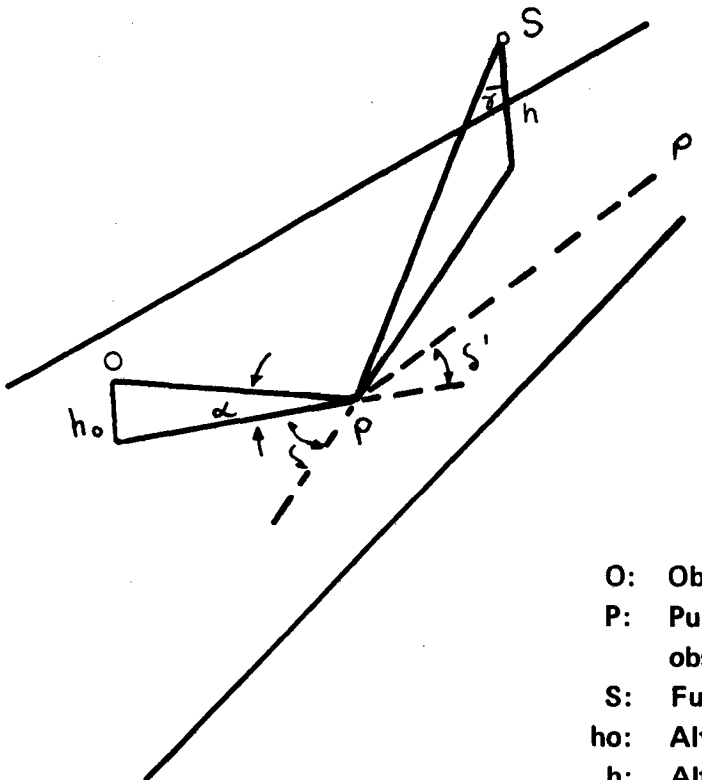
$$L = q \times E$$

Donde:

L = Luminancia

q = Factor de luminancia

E = Iluminación



O: Observador

P: Punto de la superficie bajo observación

S: Fuente luminosa

h_o: Altura del ojo del observador

h: Altura de montaje de la fuente

α: Angulo de observación

γ: Angulo de elevación de la fuente

S'S: Angulos de orientación

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \gamma$$

Por lo que:

$$L = q \frac{I}{h^2} \cos^3 \gamma$$

Para más de una fuente luminosa, la luminancia total en el punto P será:

$$L = \sum_j L_j = \sum_j q_j \frac{I_j}{h^2} \cos^3 \gamma_j$$

iii) Luminancia promedio de la superficie de la calzada. La luminancia promedio de una superficie se define como:

$$\bar{L} = \frac{\int L dA}{\int dA}$$

iv) Luminancia de contornos del camino. La luminancia de los contornos del camino depende de su naturaleza y de la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias. Normalmente no se calcula, pero si interviene en la evaluación del deslumbramiento y en la estimación de los contrastes presentados por los objetos vistos contra los contornos del camino.

v) Luminancia de luminaria. La luminancia de las luminarias depende de la distribución de la intensidad luminosa en su área proyectada. En orden de magnitud, es mucho mayor que las luminancias de la calzada y puede producir deslumbramiento, que reduce la capacidad visual del ojo, o malestar que conduce a la fatiga.

La iluminación en un punto de una superficie se define como el flujo luminoso por unidad de área en el punto, el valor es expresado en lúmenes por metro cuadrado (lm/m^2) en el sistema métrico decimal o lúmenes por pie cuadrado en el sistema inglés (lm/ft^2).

La unidad de iluminación en el sistema métrico decimal es el "Lux" y equivale a $1 \text{ lumen}/m^2$; en el sistema inglés es el "pie-candela" equivalente a $1 \text{ lumen}/ft^2$.

c) Visibilidad

El fenómeno de visibilidad está directamente relacionado con el de contraste. Es muy importante, por lo tanto, presentar siempre los siguientes contrastes al conductor:

- 1) Entre la calzada y todos los objetos que indican sus límites;
- 2) Entre cualquier obstáculo que pueda presentarse y el fondo contra el cual aparece.

En vista de que las características de un obstáculo pueden variar considerablemente, cualquier factor que tienda a incrementar el contraste, deberá ser aprovechado. Para esto, las luminancias de las superficies de fondo serán pues lo suficientemente altas y uniformes y se procurará mantener el "deslumbramiento molesto" en los límites recomendables.

d) Deslumbramiento y comodidad visual

El deslumbramiento en el alumbrado público es causado por las luminarias. Hay dos tipos de deslumbramiento; el deslumbramiento de incapacidad que disminuye la capacidad visual del ojo y, por consiguiente, la visibilidad de los objetos, y el deslumbramiento molesto que disminuye la comodidad visual y que puede conducir a la irritabilidad y a la fatiga pero que no afecta la habilidad para distinguir los objetos.

Existen además otros factores que producen deslumbramiento, como las superficies con factores altos de reflexión, escaparates excesivamente brillantes, señales de caminos, y otros similares.

El deslumbramiento depende principalmente de la iluminación que producen las luminarias sobre los ojos del observador. Por esta razón, se han establecido límites en la intensidad luminosa emitida por las luminarias en direcciones cercanas a la horizontal. (Véase el cuadro 3.) Además, para una luminancia de una intensidad dada:

- 1) El deslumbramiento disminuye conforme el área proyectada de la luminaria aumenta en la dirección del observador;
- 2) El deslumbramiento disminuye conforme aumenta el brillo del fondo contra el cual se vea las luminarias. Este fondo comprende todo el campo visual del conductor.

Si varias luminarias se presentan en el campo visual, el deslumbramiento es acumulativo.

3. Criterios de calidad

De las consideraciones anteriores se puede deducir que cuatro son los factores que constituyen el criterio fundamental para la calidad de un alumbrado público:

- a) El nivel de luminancia (brillo) y/o el nivel de iluminación
- b) La uniformidad de luminancia y/o de iluminación
- c) La limitación del deslumbramiento
- d) La guía óptica

a) Nivel de luminancia y/o nivel de iluminación

El nivel de luminancia deberá proporcionar una visibilidad que garantice a conductores y peatones un máximo de seguridad y comodidad visual. El nivel de iluminación adquiere importancia en áreas netamente residenciales.

/b) Uniformidad

b) Uniformidad de luminancia y/o de iluminación

La uniformidad de luminancia es necesaria para proporcionar comodidad visual a los conductores. La uniformidad de iluminación se requiere principalmente en calles de zonas residenciales y por lo general se permiten valores menores para la relación de la iluminación mínima a la promedio que para la uniformidad de luminancia.^{1/}

c) Limitación del deslumbramiento

El deslumbramiento debido a las luminarias deberá limitarse a valores aceptables para la comodidad visual del conductor. Básicamente estas limitaciones se obtendrán utilizando el tipo de luminaria adecuado (cut-off, semi-cut-off, non-cut-off), pero se recomienda el uso de las relaciones propuestas en Public Lightning.^{2/}

d) Guía óptica

La localización de las luminarias proporcionará una guía óptica especialmente en calles o carreteras largas y en puntos críticos como intersecciones, desvíos y otros.

4. Lámparas y luminarias

a) Lámparas

En esta norma se considerarán únicamente las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, tipo que más se usa en el Istmo Centroamericano, y las de vapor de sodio, por existir actualmente una fuerte tendencia para su uso.

^{1/} Los niveles de uniformidad recomendados se incluyen en la página 155.

^{2/} J. B. de Boer, M. Cohn, A. B. de Graaff, B. Knudsen y D. A. Schreder, Public Lighting, Philips Technical Library.

Las características que determinarán la selección de una lámpara para una determinada instalación serán:

- 1) El flujo luminoso (lúmenes)
- 2) La economía (costo inicial, costo de mantenimiento, lúmenes/vatio y vida útil)
- 3) La luminancia de la lámpara y su área emisora
- 4) El color de la luz emitida.

i) Identificación para las lámparas de vapor de mercurio. Las lámparas de vapor de mercurio se identificarán de acuerdo al método recomendado por ANSI (C 78.380 - 1957), el cual consiste en una combinación de letras y números con el siguiente orden y significado:

H, identifica a las lámparas de mercurio;

Un número indica todas las características eléctricas de la lámpara. Las lámparas con un mismo número serán eléctricamente intercambiables; 3/ Dos letras. Estas letras representarán todas las características físicas de la lámpara, tales como tamaño de bulbo, forma, material, etc. Las lámparas con las mismas letras serán físicamente intercambiables.

Además, a la designación anterior, el fabricante podrá agregar la potencia nominal, el color, etc.

ii) Lámparas recomendadas. Las lámparas recomendadas para alumbrado público serán:

Vatios de la lámpara	Designación de la lámpara <u>a/</u>	Designación del bulbo <u>a/</u>	Tipo de lámpara	Designación de la base
100 W	H 38 HT	BT-25	Clara	Rosca Mogul
100 W	H 38 JA	BT-25	Fluorescente mercurial	Rosca Mogul
175 W	H 39 KC	BT-28	Fluorescente mercurial	Rosca Mogul
250 W	H 37 KC	BT-28	Fluorescente mercurial	Rosca Mogul
400 W	H 33 GL	BT-37	Fluorescente mercurial	Rosca Mogul

a/ Referencia ANSI

En el cuadro 1 se indican las principales características de estas lámparas.

3/ Para la intercambiabilidad eléctrica se entiende que las características de operación y los requisitos de encendido que aparecen en el cuadro 1 son similares.

Cuadro 1

CARACTERISTICAS DE LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRESION

Potencia nominal de la lámpara (vatios)	Unidad	100	100	175	250	400
Desig. de la lámpara	—	H38HT	H38JA	H39KC	H37KC	H33GL
Tipo de lámpara	—	Clara	F.M.	F.M.	F.M.	F.M.
Desig. de la base (rosca)	—	Mogul	Mogul	Mogul	Mogul	Mogul
Desig. del bulbo	—	BT-25	BT-25	BT-28	BT-28	BT-37
Diámetro nominal	mm	79	79	89	89	117
Longitud máxima total	mm	191	191	211	211	302
Longitud del arco	mm	28.5±6.3	28±6.3	50.8±9.5	57±9.5	70±12.7
Posición de encendido	—	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
Temp. máxima del bulbo	°C	400	400	400	400	400
Temp. máxima de la base	°C	210	210	210	210	210
Características de operación ^{a/}						
Volt. nominal - V.B.A. ^{b/}	V	130	130	130	130	135
Mínimo - V.B.A.	V	115	115	115	115	120
Máximo - V.B.A.	V	145	145	145	145	150
Corriente nominal - V.B.A.	A	0.85	0.85	1.5	2.1	3.2
Volt. nominal - horizontal	V	130	130	128	129	130
Mínimo - horizontal	V	115	115	113	114	115
Máximo - horizontal	V	145	145	143	144	145
Corriente nominal - horizontal	A	0.8	0.8	1.55	2.15	3.4
Requisitos de encendido						
Voltaje mínimo a 10° C ^{c/}	V	200	200	200	190	190
Corriente mínima a 25° C ^{d/}	A	0.85	0.85	1.5	2.1	3.1
Corriente de diseño ^{d/}	A	1.3	1.3	2.2	3.1	5.0
Corriente máxima ^{d/}	A	1.8	1.8	3.0	4.2	6.5
Tiempo de calentamiento ^{e/}	Min.	15	15	15	15	15
Voltaje máximo entre terminales	Vpico	1 100	1 100	1 100	1 100	2 150

Nota: F.M. = Fluorescente mercurial.

- ^{a/} Estos valores están basados en una temperatura ambiente de 25°C, operando la lámpara con su respectivo Balastro Patrón. (Véase más adelante el inciso iv)-12.)
- ^{b/} V.B.A., posición vertical base arriba.
- ^{c/} Los voltajes mínimos de encendido asegurarán una confiabilidad del 98 por ciento de probabilidades de encendido a 50°F a 0 horas de operación de la lámpara, y un 90 por ciento de probabilidades de encendido a 0°F y -20°F a 100 horas de operación de la lámpara.
- ^{d/} Estos valores de corriente de encendido serán medidos cuando la lámpara opere al voltaje alimentador nominal del circuito y a una temperatura ambiente de 25°C, 5 a 15 segundos después de haberse energizado el circuito.
- ^{e/} El tiempo de calentamiento será el requerido por la lámpara para alcanzar el 95 por ciento del valor mínimo nominal de operación, operando a la mínima corriente de encendido a una temperatura ambiente de 32°F, en posición "vertical base arriba" y aire ambiente calmado.

iii) Balastos para lámparas de vapor de mercurio. Las siguientes especificaciones se aplicarán a balastos integrales, diseñados para operar en un sistema de 60 hertz, de tensión nominal de 600 voltios o menos y en paralelo con el circuito alimentador.

1) Voltajes alimentadores. Los voltajes alimentadores preferidos serán: 120, 208 y 240 voltios.

2) Variaciones en los voltajes alimentadores. Los balastos deberán ser capaces de suministrar las características especificadas en los incisos 5), 6) y 8), con variaciones del voltaje alimentador de ± 5 por ciento de su voltaje nominal.

3) Carga. La carga nominal del balastro será especificada en vatios y estará de acuerdo con la potencia de la lámpara para la que está designada a operar.

4) Temperatura ambiente de la lámpara. Los balastos estarán diseñados para encender lámparas a temperaturas ambiente de $-17.8\text{ C } (0^{\circ}\text{ F})$.

5) Voltaje de arranque. Los balastos proporcionarán el voltaje de arranque estipulado para la lámpara en su norma respectiva, en la gama de voltajes para la que los balastos están destinados a operar.

6) Corriente de arranque. Los balastos proporcionarán la corriente de arranque de acuerdo con los requisitos de la norma aplicable a la lámpara, en la gama de voltajes para la que los balastos están destinados a operar.

7) Potencia de operación de la lámpara. Los balastos entregarán a una Lámpara Patrón, en su posición de operación especificada (vertical base arriba u horizontal), una potencia no mayor ni menor del 7.5 por ciento de la potencia entregada a la misma lámpara en la misma posición por un Balastro Patrón. Tanto el balastro bajo prueba como el Patrón serán operados a su voltaje y frecuencia nominal.

8) Regulación. En toda la gama del voltaje alimentador a la que el balastro está destinado a operar, éste entregará a una Lámpara Patrón, operando a su posición especificada, no menos del 88 por ciento ni más del 112 por ciento de la potencia entregada por el balastro a la misma Lámpara Patrón cuando éste opera a su voltaje nominal.

9) Corriente de operación de la lámpara. Con el voltaje alimentador nominal aplicado a un balastro, la corriente entregada a una Lámpara Patrón, operando a su posición especificada, no excederá del 110 por ciento de la corriente entregada por un Balastro Patrón a la misma lámpara en la misma posición.

10) Temperatura de balastos. Devanados y carcasa. El aumento de temperatura de un balastro no excederá de los valores del cuadro 2, cuando opere a su voltaje alimentador y frecuencia nominal alimentando la Lámpara Patrón apropiada, después de haberse estabilizado la temperatura.

Cuadro 2

LIMITES DE AUMENTO DE TEMPERATURA DE BALASTROS

Clase de aislamiento	Aumento de temperatura (grados centígrados)
A (105° C)	70
B (130° C)	95
F (155° C)	115
H (180° C)	135

Los aumentos de temperatura se basan en una temperatura ambiente de 25° C. Para temperaturas ambiente mayores de 25° C, los aumentos permisibles serán disminuidos en la misma cantidad en que la temperatura ambiente excede los 25° C normales.

Se recomienda utilizar preferentemente balastos con aislamiento clase H.

11) Nivel básico al impulso. Los balastos destinados a luminarias para alumbrado público estarán diseñados para un Nivel Básico al Impulso mínimo de 7.5 y 10 kV para balastos de voltajes alimentadores nominales máximos de 250 y 600 voltios, respectivamente.

12) Características de Balastos Patrón. Las características de los Balastos Patrón están dadas a 60 Hz, 25°C y 7.5 ± 0.5 por ciento de factor de potencia.

Potencia	Tipo de lámpara	Posición de la	Voltaje alimentador nominal (voltios)	Corriente (amperios)	Impedancia (Ohmios)	Referencia
100	H38	VBA	220	0.85	170	ANSI
		Hor.	220	0.88	168	C78.1300-1968
175	H39	VBA	220	1.50	99.5	ANSI
		Hor.	220	1.55	97.5	C78.1308-1968
250	H37	VBA	220	2.1	70.8	ANSI
		Hor.	220	2.15	69.3	C78.1301-1968
400	H33	VBA	220	3.2	44.8	ANSI
		Hor.	220	3.4	44.2	C78.1305-1968

VBA, vertical base arriba.

13) Principales tipos de balastos para lámparas de vapor de mercurio. Para los balastos que más se usan para instalaciones de alumbrado público, se establecerán los siguientes valores de regulación.

Baslastro tipo	Variación en el voltaje alimentador (porcientos)	Variación en la potencia de la lámpara
Reactor serie	± 5	± 12
Autotransformador convencional	± 5	± 12
Autotransformador autorregulado	± 10	± 5
Potencia constante	± 13	± 2

Se utilizarán únicamente balastos de alto factor de potencia.

iv) Dispositivos de control

1) Requisitos mecánicos. El enchufe usado en el dispositivo será del tipo de clavija de vuelta de 125 V - 15 A, 250 V - 10 A, 3 polos, 3 hilos, conforme a las dimensiones indicadas en la publicación NEMA No. SH 16-1962.

Se dispondrá de un medio de sellado como parte integral de la unidad de control.

Las dimensiones y configuración del receptáculo, las dimensiones de su cavidad y las de la base de montaje del control estarán de acuerdo con las indicadas en la publicación NEMA SH 16 - 1962.

2) Requisitos eléctricos. Las fotoceldas serán para 120 voltios, 60 Hz o 120/240 voltios y operarán a tensiones eléctricas comprendidas entre 105 y 130 voltios, o entre 105 y 130/180 y 285 voltios para la de doble voltaje.

3) Medio ambiente. La temperatura ambiente normal será de $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y el dispositivo operará dentro de una gama de temperaturas de -10°C a 50°C .

Cuando el dispositivo de control esté montado apropiadamente en la cabeza de la luminaria, el conjunto deberá ser a prueba de agua, polvo, insectos y otras impurezas del aire, y soportar durante 48 horas una humedad relativa de 96 por ciento a 50°C , operando con su carga nominal o bien desenergizado.

4) Requisitos de protección. La rigidez dieléctrica entre las partes conductoras y las partes metálicas de la carcasa estará capacitada para soportar una prueba de tensión eléctrica de 2.5 kV a 60 Hz por un minuto en seco.

5) Carga nominal. Los dispositivos de control para lámparas mercuriales deberán soportar una carga nominal de 1 200 VA.

6) Requisitos de operación. El dispositivo cerrará el circuito de encendido dentro de los límites de + 100 por ciento y -50 por ciento del nivel de iluminación calibrado a voltaje, frecuencia y temperatura ambiente nominal:

a) Dentro de una gama de voltaje desde 105 hasta 130 voltios a frecuencia nominal, y a $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

b) A frecuencia y voltaje nominal en una gama de temperatura desde -10° C hasta 50° C.

La relación del nivel de iluminación de apagado al nivel de iluminación de encendido no excederá de 5.

El dispositivo no deberá causar radio interferencia cuando opere.

7) Niveles de iluminación para operación. El dispositivo de control podrá calibrarse en su nivel de iluminación de encendido desde 5.4 Luxes (0.5 pie-candela) a 32.3 Luxes (3 pie-candela).

La fotocelda deberá mostrar una marca para indicar su orientación con respecto a un punto cardinal. Esta orientación deberá ser adecuada para el funcionamiento correcto de la fotocelda en las latitudes del Istmo Centroamericano (7° a 18° norte).

8) Tiempo de retardo. El dispositivo tendrá un tiempo mínimo de retardo de 20 segundos y máximo de 120 segundos.

9) Pararrayos El control dispondrá de un pararrayos (o derivador de sobretensiones eléctricas) para la protección del dispositivo contra sobrevoltajes.

10) Componentes. Se aceptarán únicamente componentes de alta calidad. El elemento sensitivo será de sulfuro de cadmio u otro dispositivo de estado sólido de características similares y será hermético y a prueba de humedad.

b) Luminarias

En la selección de una luminaria se deberán considerar los siguientes puntos:

- 1) La naturaleza y potencia de la fuente luminosa
- 2) La naturaleza del sistema óptico y la distribución de la luz que proporcione
- 3) El sistema protector
- 4) La utilización del flujo luminoso
- 5) La resistencia al calor
- 6) La resistencia a las condiciones atmosféricas
- 7) Las facilidades de instalación y mantenimiento
- 8) La cantidad de auxiliares
- 9) Las dimensiones y peso de la unidad completa
- 10) El rendimiento de los colores

- 11) Las limitaciones en la altura de montaje
- 12) El aspecto económico

La influencia de esos factores varía de acuerdo con las circunstancias locales y el diseñador deberá considerarlos según su importancia relativa. La distribución de la intensidad luminosa de la luminaria, sin embargo, influye directamente en la calidad de un alumbrado. Con base en la dirección de la máxima intensidad luminosa y las intensidades máximas permisibles a determinados ángulos de la vertical, la Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) ha clasificado las luminarias en tres tipos: cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. En el cuadro 3 se señalan los valores característicos de esos tres tipos de distribución.

i) Tipos de luminarias

1) Clasificación internacional

Luminaria sin deslumbramiento. Es una luminaria cuya distribución de intensidad está estrictamente limitada, en direcciones con ángulos iguales o mayores de 80° de la vertical hacia abajo, a los valores indicados en el cuadro 3.

Luminaria deslumbramiento medio. Es una luminaria cuya distribución de intensidad está estrictamente limitada, en direcciones con ángulos iguales o mayores de 80° de la vertical hacia abajo, a los valores indicados en el cuadro 3.

Luminaria con deslumbramiento. Es una luminaria cuya distribución de intensidad, en direcciones iguales o mayores de 80° con la vertical hacia abajo no es reducida, y la intensidad en la horizontal está limitada a 1 000 candelas.

Cuadro 3

CLASIFICACION DE LUMINARIAS

Tipo de luminaria	Dirección de la intensidad máxima	Valores máximos permisibles de intensidad a	
		90°	80°
Sin deslumbramiento	0 - 65°	10 cd/1 000 1m	30 cd/1 000 1m
Deslumbramiento medio	0 - 75°	50 cd/1 000 1m	100 cd/1 000 1m
Con deslumbramiento		1 000 cd	-

2) Clasificación IES-ANSI de luminarias

Como guía de referencia se presentan las clasificaciones de la IES-ANSI de las luminarias para el alumbrado de calzadas, que se basan en la localización del punto de máxima intensidad de los segmentos de 1/2 de máxima intensidad y en el control de la distribución vertical de intensidad luminosa sobre el punto de máxima intensidad.

a) Distribución vertical de luz

Las luminarias se clasificarán en "larga", "media" o "corta", según su distribución vertical de luz.

Distribución corta: Una luminaria se clasificará como de distribución corta de luz, cuando su punto de máxima intensidad caiga entre las líneas transversales de la calzada (LTC) correspondientes a 1.0 y 2.25 veces la altura de montaje de la luminaria (zona transversal de máxima intensidad).

Distribución media: Una luminaria se clasificará como de distribución media de luz cuando su punto de máxima intensidad luminosa caiga entre las líneas transversales de la calzada (LTC) correspondientes a 2.25 y 3.75 veces la altura de montaje de la luminaria (zona transversal de máxima intensidad).

Distribución larga: Una luminaria se clasificará como de distribución larga de luz cuando su punto de máxima intensidad luminosa caiga entre las líneas transversales de la calzada (LTC) correspondientes a 3.75 y 6.0 veces la altura de montaje de la luminaria (zona transversal de máxima intensidad).

b) Control vertical de luz

Conforme al control de intensidad luminosa en la porción superior del punto de máxima intensidad, las luminarias se clasificarán en "cut-off", "semi-cut-off" o "non-cut-off".

/Cut-off:

Cut-off: Una luminaria estará en la clasificación de control de luz cut-off cuando la intensidad luminosa, más allá de las líneas transversales de la calzada (LTC) límites no excede numéricamente del 10 por ciento de los lúmenes nominales de la fuente de luz.

Las líneas transversales de la calzada límites son:

- 1) para distribución corta - 3.75 veces la altura de montaje
- 2) para distribución media - 6.00 veces la altura de montaje
- 3) para distribución larga - 8.00 veces la altura de montaje

Semi-cut-off: Una luminaria estará en la clasificación de control de luz semi-cut-off cuando su intensidad luminosa, más allá de las líneas transversales de la calzada (LTC) límites, no excede numéricamente del 30 por ciento de los lúmenes nominales de la fuente luminosa.

Las líneas transversales de la calzada límites son:

- 1) para distribución corta - 3.75 veces la altura de montaje
- 2) para distribución media - 6.00 veces la altura de montaje
- 3) para distribución larga - 8.00 veces la altura de montaje

Non-cut-off: A esta categoría pertenecerán aquellas luminarias que no tengan límites de intensidad luminosa sobre la zona del punto de máxima intensidad.

c) Distribución lateral de luz

El tipo de distribución lateral de las luminarias, excepto el V que no requiere de esas relaciones para su definición, se determinará con base en la posición relativa de los segmentos de curva de isocandela de media intensidad máxima comprendidos entre las líneas transversales de la calzada (LTC), donde el punto de máxima intensidad cae a las líneas longitudinales de la calzada (LLC).

Una luminaria tendrá una distribución de luz lateral de los tipos enseguida indicados, cuando:

<u>Tipo</u>	<u>Localización de los segmentos de curva de isocandela de 1/2 de intensidad máxima en la zona transversal de máxima intensidad</u>
I	Los segmentos de la curva de isocandela de 1/2 de intensidad máxima tanto del lado de calle como del de la casa están limitados por las líneas longitudinales de la calzada (LLC) de ambos lados de la línea de referencia correspondientes a 1.0 veces la altura de montaje en la zona transversal de máxima intensidad.
II	El segmento de la curva de isocandela de 1/2 de intensidad máxima del lado de la calle no cruza la línea longitudinal de la calzada (LLC) correspondiente a 1.75 veces la altura de montaje en la zona transversal de máxima intensidad.
III	El segmento de la curva de isocandela de 1/2 de intensidad máxima del lado de la calle cruza total o parcialmente la línea longitudinal de la calzada correspondiente a 1.75 veces la altura de montaje, pero no cruza la línea longitudinal (LLC) de 2.75 veces la altura de montaje en la zona transversal de máxima intensidad.
IV	El segmento de la curva de isocandela de 1/2 de intensidad máxima del lado de la calle, cruza total o parcialmente la línea longitudinal de la calzada (LLC) correspondiente a 2.75 veces la altura de montaje en la zona transversal de máxima intensidad.
V	La distribución de intensidad es de simetría circular y tiene esencialmente la misma intensidad en todos los ángulos laterales.

En la figura 1 se muestran algunas de las líneas longitudinales y transversales que intervienen en la clasificación de distribución de la luz de las luminarias.

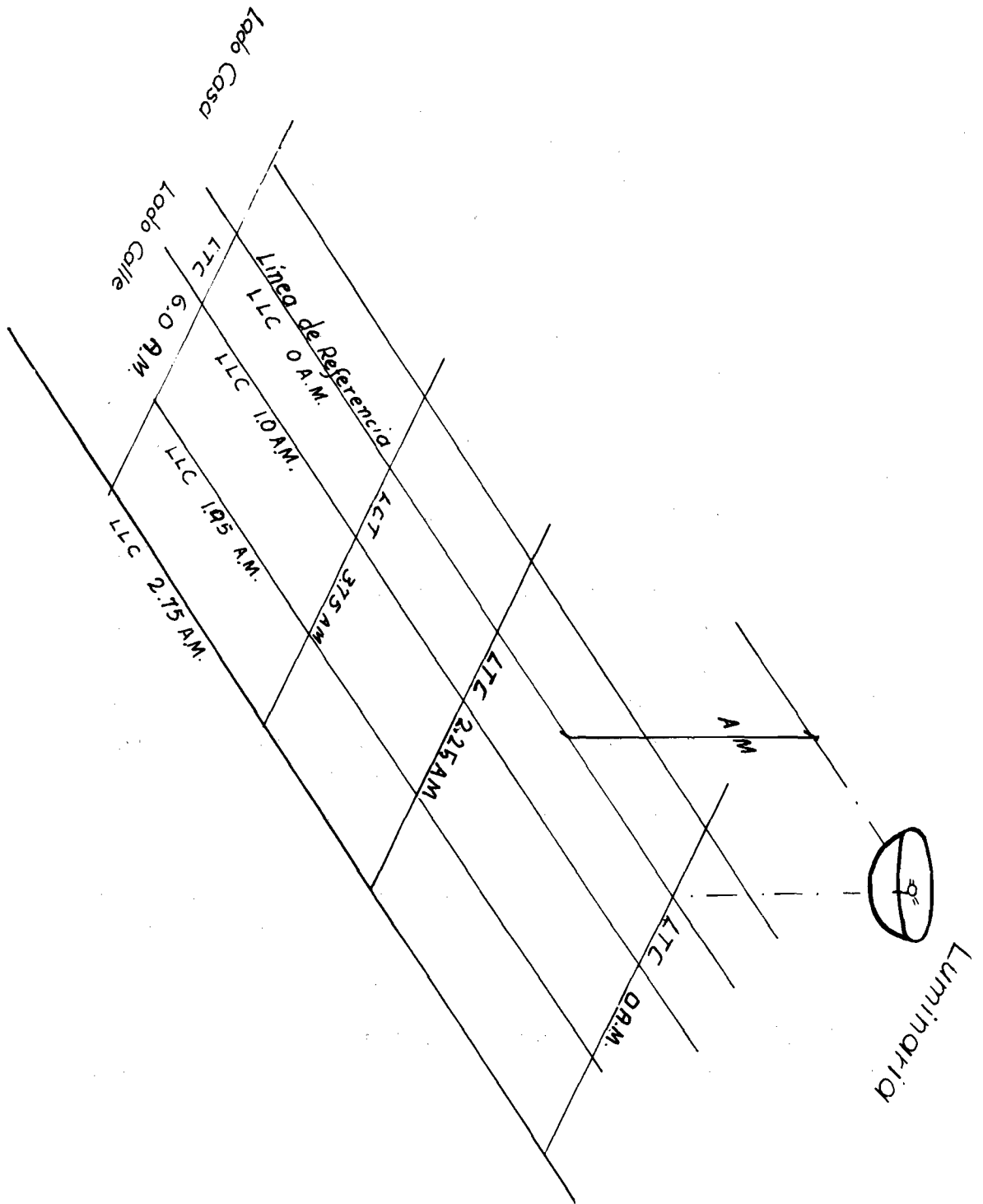


Figura 1

LÍNEAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES DE LA CALZADA

3) Comparación de luminarias

COMPARACION DE DESLUMBRAMIENTOS ENTRE LUMINARIAS
CLASIFICADAS POR LA CIE Y LA IES-ANSI
(BASE DE 1 000 LUMENES)

Angulos en ° arriba de los cuales se ejerce el control de intensidad	Clase de luminaria					
	Sin deslumbra- miento	Cut- off	Deslumbra- miento medio	Semi- cut- off	Con des- lumbra- miento	Non- cut- off
Corta (C) 75° 04'		100		300		—
80° 00'	30		100			
Media (M) 80°32'		100		300		—
Larga (L) 82° 52'		100		300		—
90° 00'	10		50		1 000	

Nota: Debido a la única clasificación que hace la CIE de las luminarias, solamente es comparable con la clasificación de control de intensidad para las luminarias de fabricación bajo norma IES-ANSI.

ii) Requisitos de construcción. Los requisitos de construcción que una luminaria debe satisfacer, se pueden resumir en los siguientes:

- a) Materiales apropiados y construcción robusta
- b) Buen enfriamiento
- c) Facilidad de montaje y mantenimiento
- d) Diseño estético

1) Carcasa. La carcasa de la luminaria deberá ser de aluminio fundido a presión, sin porosidades, de espesor uniforme, de superficies a prueba de corrosión y oxidación. El brazo puede formar parte de la carcasa o de lo contrario deberá contar con un accesorio de sujeción ajustable para brazos de 3.175 cm (1 1/4") y 5.08 cm (2") y en su interior se deberá instalar el balastro y demás accesorios eléctricos, y dispondrá de un receptáculo para montar un control fotoeléctrico.

/2) Reflector

2) Reflector. El reflector deberá ser de una sola pieza e independiente de la luminaria, y contar con un alto coeficiente de reflexión, antiempañable; se deberá poder montar y desmontar con facilidad.

3) Refractor. El refractor deberá ser de cristal prismático y templado que absorba los esfuerzos mecánicos debidos a cambios bruscos de temperatura, golpes, etc., resistente al calor y de factor de transmisión elevado. Se aceptarán refractores de plástico del tipo abierto o cerrado, siempre que éstos reúnan en grado satisfactorio las características de los refractores de vidrio. El color de los refractores no se deberá alterar con el tiempo.

4) Portalámpara. El portalámpara deberá ser resistente, de porcelana de buena calidad y deberá estar, de preferencia, montado en algún aditamento que permita su colocación en varias posiciones a lo largo de su eje, y en un plano vertical, para que la luminaria produzca diferentes tipos de distribución.

5) Sellos del conjunto. Todas las partes removibles del conjunto como el refractor y el soporte del portalámpara deberán estar selladas con juntas de neopreno y silicón para altas temperaturas que amortigüen golpes y vibraciones y protejan la luminaria contra polvo, humedad, insectos, etc.

6) Portarrefractor. El aro portarrefractor deberá ser de una sola pieza, de material anticorrosivo y antioxidante y deberá sujetarse a la luminaria por medio de bisagras que eviten su caída accidental.

7) Protector. Las luminarias que dispongan de protectores deberán contar con un medio de sujeción para el protector, similar al de los aros portarrefractores. El protector deberá ser de cristal templado o plástico y deberá satisfacer los mismos requisitos mecánicos, térmicos y de hermeticidad de los refractores; asimismo su color no se deberá alterar con el tiempo y deberá asentar en forma hermética contra el sello de la carcasa o el del reflector, para evitar la entrada de las impurezas del aire al sistema óptico.

8) Dispositivo de respiración. Donde el conjunto refractor, reflector y socket debe formar un sistema óptico completamente sellado, estará provisto de algún dispositivo de respiración que filtre las impurezas del aire.

/9) Brazos y

9) Brazos y soportes. Los brazos serán de un material resistente a los esfuerzos mecánicos y a la imtemperie y tendrán longitudes nominales de 1.22 m (4'), 1.83 m (6'), 2.44 m (8'), 3.04 m (10'), 3.66 m (12') y 4.26 m (14'). La longitud nominal del brazo se medirá horizontalmente de la cara del porte al punto de sujeción de la luminaria. La tolerancia en la longitud nominal será + 25.4 cm (10") y -15.24 cm (6"). Los diámetros de los tubos serán de 3.175 cm (1 1/4") y 5.08 cm (2").

El brazo tendrá en el extremo de unión a la luminaria un tramo horizontal de 9.52 cm (3 3/4") de longitud mínima para tubos de 3.175 cm (1 1/4") y de 13.02 cm (5 1/8") para tubos de 5.08 cm (2").

Soportes del brazo. Los soportes del brazo estarán diseñados para sujetarse a postes de madera o de concreto. Deberán estar diseñados para ocupar la mínima distancia vertical entre sus puntos de fijación sujetos a tensión y compresión. Será preferible que las distancias verticales entre esos puntos no excedan los siguientes valores:

Longitud nominal del brazo		Espaciamiento vertical entre puntos sujetos a la tensión y compresión del soporte	
Metros	Pies	Centímetros	Pulgadas
1.22	(4)	45.70	(18)
1.83	(6)	50.80	(20)
2.44	(8)	55.90	(22)
3.04	(10)	61.00	(24)
3.66	(12)	66.04	(26)
4.26	(14)	71.12	(28)

Capacidad de carga del brazo y soporte. El conjunto brazo-soporte estará diseñado para resistir una carga vertical de 44.3 kg (100 libras) aplicadas a 7.62 cm (3") del extremo del brazo sin que la deflexión en ese punto exceda del 5 por ciento de la longitud del brazo, y para soportar una carga vertical de 113.4 kg (250 libras) aplicada a 7.62 cm (3") del extremo del brazo sin que se presenten ruptura o grietas en ninguna parte del conjunto.

El conjunto brazo-soporte estará igualmente diseñado para resistir una carga horizontal de 22.15 kg (50 libras) aplicada normal al plano vertical del conjunto a una distancia de 7.62 cm (3") del extremo del tubo, sin que la deflexión de ese punto exceda del 5 por ciento de la longitud del brazo. Esta prueba se hará con una carga vertical estabilizadora de 8.86 kg (20 libras) aplicadas a 7.62 cm (3") del extremo del brazo.

Protección contra la corrosión. Todas las partes del soporte y brazo estarán protegidas contra la corrosión.

ii) Información básica sobre luminarias. Para que el diseñador pueda seleccionar la luminaria óptima para su proyecto, tanto desde el punto de vista técnico como económico, necesitará la siguiente información:

- 1) Designación del fabricante
- 2) Lámpara (características, indicadas por separado)
- 3) Propiedades ópticas:

Sistema óptico

Forma

Material y acabado del reflector

Material y acabado del refractor

- 4) Carcasa:

Material

Acabado

Color

/5) Protector:

- 5) **Protector:**
 Material
 Acabado
 Color
- 6) **Accesorios de montaje:**
 Abrazadera de sujeción al brazo (diámetro en milímetros)
 Angulo de ajustes para nivelación
- 7) **Dimensiones y peso:**
 Longitud (L), en mm
 Ancho (W), en mm
 Altura (H), en mm
 Peso, en kg
- 8) **Propiedades eléctricas:**
 Balastro integral (sus características se indicarán por separado)
 Voltaje nominal, voltios
 Corriente de encendido, incluyendo balastro, amperios
 Factor de potencia
 Corriente nominal, incluyendo balastro, amperios
 Con capacitor, microfaradios
 Corriente de encendido, incluyendo balastro, amperios
 Corriente nominal, incluyendo balastro, amperios
 Factor de potencia
 Temperatura ambiente mínima °C
 Voltaje mínimo de encendido a temperatura mínima, V
 Período de calentamiento, minutos
 Carga nominal (incluyendo balastro), vatios
- Nota:** Deberán indicarse las bases a las que están referidos los valores de voltaje y las corrientes.
- 9) **Características fotométricas:**
 Tipo de luminaria
 Angulo de inclinación
 Flujo luminoso (a 100 horas de servicio) lúmenes:
 Flujo luminoso de la lámpara
 Flujo luminoso de la luminaria
 Flujo luminoso hacia arriba
 Flujo luminoso hacia abajo

Eficiencia de la luminaria

Intensidades luminosas (por 1 000 1m de flujo de la lámpara):

Intensidad 90° , cd/1 000 1m

Intensidad a 80° , cd/1 000 1m

Area emisora, m²

I 80° / I 88°

Intensidad a 0° , cd/1 000 1m

Máxima intensidad, cd/1 000 1m

Localización del punto de máxima intensidad

Subdivisión de la distribución de luz

Factor de depreciación, fd

Adicionalmente el fabricante proporcionará las siguientes curvas:

- a) **Curvas de distribución (por 1 000 lúmenes)**
- b) **Curvas de isocandela (por 1 000 lúmenes)**
- c) **Curvas isolux (por 1 000 lúmenes)**
- d) **Curvas isoluminancia (por 1 000 lúmenes) para los tipos de superficie normalizados (véase más adelante la sección 5).**
- e) **Curva de factor de utilización**
- f) **Curva de rendimiento de luminancia para los tipos de superficie normalizados. (Véase el cuadro 4.)**

1) **Factores de depreciación o mantenimiento.** El flujo luminoso de una luminaria disminuye con el tiempo debido a la reducción del flujo de la lámpara y a la acumulación de suciedad en el refractor y en el reflector y en la lámpara misma. La influencia de esos factores en los cálculos de iluminación se podrá considerar a través de los factores de depreciación o mantenimiento.

El factor de mantenimiento de la lámpara será expresado, de preferencia, como la relación de los lúmenes promedio a través de la vida de la lámpara a los lúmenes iniciales (100 horas de servicio).

El fabricante deberá proporcionar otros factores de mantenimiento, indicando los valores de referencia.

2) **Distribución de luz.** Las luminarias serán representadas por su distribución de intensidad luminosa en planos verticales. Las luminarias con distribución simétrica alrededor de un eje vertical serán representadas con una sola curva de distribución; las luminarias con distribución simétrica a dos ejes (como reflectores rectangulares para lámparas tubulares),

con dos curvas de distribución, una perpendicular y la otra paralela al eje del camino; las luminarias asimétricas, con tres curvas de distribución, una perpendicular al eje del camino, otra paralela al mismo eje y una en la dirección del punto de mayor intensidad, indicando en ella el ángulo que el plano vertical que la contiene hace con el eje del camino. Las intensidades serán dadas para 1 000 lúmenes.

3) Diagrama de isocandela. El diagrama de isocandela que incluye la mitad de todos los planos verticales presenta una descripción más completa de la distribución de luz. En él se trazarán curvas de igual intensidad en el hemisferio desarrollado. El diagrama de isocandela podrá también dibujarse sobre la superficie de la calzada. Las curvas para este último estarán basadas en la intensidad máxima para 1 000 lúmenes y serán fracciones de ésta (90, 80, 70, y 60 por ciento de I_{max}).

4) Diagrama Isolux. La distribución de iluminación sobre la superficie de una calzada se representará en el diagrama isolux. Los valores de iluminación de las curvas se darán con base en 1 000 lúmenes y la escala estará indicada por la altura de montaje.

5) Curvas de factor de utilización. Estas curvas mostrarán información sobre la proporción de lúmenes arrojada por la luminaria sobre la calzada (lado calle y lado casa). Los factores o coeficientes de utilización de lado calle y lado casa se identificarán por K_1 y K_2 , respectivamente. En el eje de las ordenadas se expresará el valor de K en por ciento o fracción, y en el de las abscisas el ancho de la calzada (referido a la vertical de la luminaria).

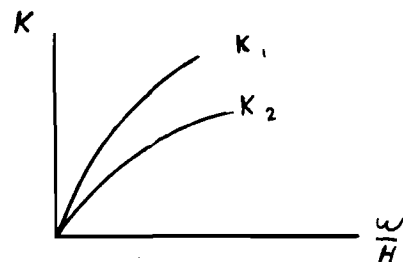
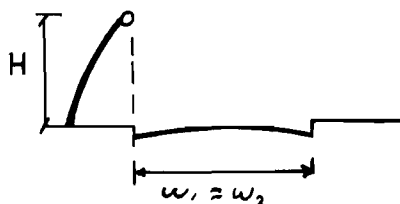
A continuación se presentan algunos ejemplos de la determinación del coeficiente de utilización para diferentes arreglos:

i) Arreglo unilateral

a) La vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada.

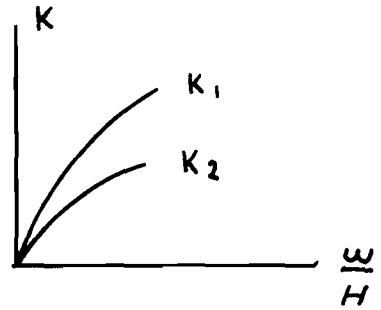
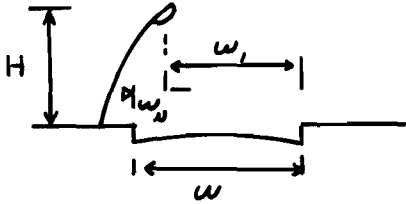
$$K_T = K_1$$

$$K_2 = 0$$

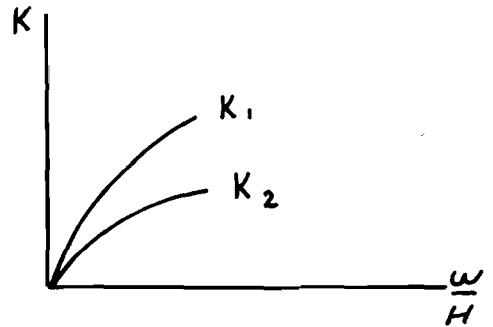
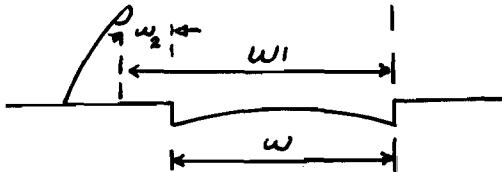


b) La luminaria tiene un avance w_2 sobre la calzada

$$K_T = K_1 + K_2$$

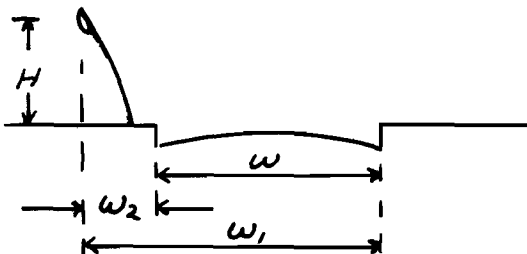


c) La luminaria está sobre la acera a w_2 de la calzada



$$K_T = K_1 - K'_1$$

d) La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y está a w_2 de la calzada.



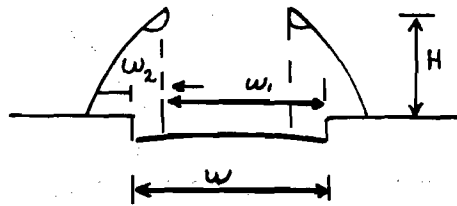
$$K_2 \text{ para } w_1/H$$

$$K'_2 \text{ para } w_2/H$$

$$K_T = K_2 - K'_2$$

(ii) Arreglo bilateral alterno

a) Las luminarias tienen igual avance



El cálculo de K_T es idéntico que para un arreglo unilateral, el espaciamiento será el de dos luminarias consecutivas estén o no del mismo lado.

$$K_T = K_1 + K_2$$

b) Las luminarias tienen diferente avance. En este caso, se encontrarán por separado los coeficientes de utilización y se promediarán



$$K_T = \frac{K_{TA} + K_{TB}}{2}$$

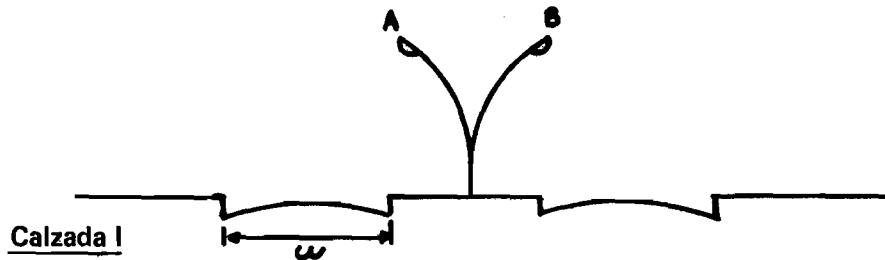
(iii) Arreglo bilateral opuesto. El cálculo para cada lado se hará en la forma explicada en (i) "arreglo unilateral".

a) Las luminarias tienen el mismo avance. En este caso el K_T será el de cualquiera de los lados. En los cálculos de iluminación se deberá considerar el flujo de las dos lámparas.

b) Las luminarias tienen distinto avance.

En este caso
$$K_T = \frac{K_{TA} + K_{TB}}{2}$$

(iv) Arreglo central doble. K se calculará según los procedimientos explicados anteriormente.



Para la calzada I:

K_{TA} se calcula conforme a (i) - a, b y c

K_{TB} se calcula conforme a (i) -d y finalmente

$$K_T = \frac{K_{TA} + K_{TB}}{2}$$

6) Diagramas de rendimiento de luminancia. Se recomienda investigar con los proveedores de luminarias las posibilidades de obtener estas curvas para los diferentes tipos de superficie de calzada. (Véase más adelante la sección 5.)

7) Diagramas de isoluminancia. También se recomienda investigar las posibilidades de obtener de los fabricantes estas curvas que son de gran utilidad en el diseño de alumbrado de calzadas.

5. Clasificación de superficies

Para explicar el concepto de luminancia en el diseño de alumbrado público se necesita conocer las características de reflexión de la calle a iluminar. Estas características varían grandemente, dependiendo en particular de la rugosidad, años de uso, materiales utilizados en la pavimentación y el grado de humedad de la superficie.

A fin de facilitar los cálculos, se propone adoptar provisionalmente la clasificación general del cuadro 4, para las características de reflexión de superficies de caminos, 2/ mientras la experiencia o mediciones posteriores indiquen otros valores.

2/ Recomendada en Public Lighting, op. cit.

Cuadro 4

CLASIFICACION GENERAL DE SUPERFICIES DE CALZADAS

Tipo de superficie	q_0	χ	Tipo
Ideal	1	0	I
Asfalto rugoso	0.10	0.25	II
Concreto	0.10	0.30	III
Asfalto medio con minerales oscuros	0.07	0.35	IV
Asfalto fino, alquitrán, arena	0.085	0.55	V
asfaltada	0.066	0.60	
Adoquines			

6. Clasificación de áreas, calzadas y poblacionesa) Areas^{3/}

i) Centro o zona comercial de una población. Es la parte de la ciudad con desarrollo comercial, en donde normalmente existen un gran número de peatones y una gran demanda de espacio para estacionamiento durante los períodos de máximo tráfico, o un volumen alto y sostenido de peatones y una demanda fuerte y continua de estacionamientos públicos durante las horas de oficina. Esta definición se aplica a zonas industriales o comerciales intensamente desarrolladas en forma independiente, ya sea que formen parte del centro de la ciudad o estén fuera de ésta. Para pequeñas poblaciones (clases I y II) el centro se identificará, por lo general, con la zona circundante a la plaza o parque central, donde se encuentran las sedes de las autoridades civiles, militares y religiosas.

ii) Area intermedia. Es la sección del área metropolitana que está fuera del centro, pero generalmente dentro de la zona de influencia del desarrollo comercial e industrial, y que se caracteriza por un tránsito

^{3/} American Standard Association, American Standard Practice for Roadway Lighting, New York, N.Y.

de peatones moderadamente alto durante las horas nocturnas y una demanda de estacionamiento más baja que en el centro.

iii) Area suburbana y rural. Es un sector residencial o una mezcla de residencias y establecimientos comerciales, caracterizadas por pocos peatones y una demanda baja de estacionamiento.

b) Calles^{4/}

i) Principal. Es la parte del sistema de calzadas que sirven como red principal, por las que pasa al flujo de tránsito a través de una ciudad.

ii) Colectora o distribuidora. Calles que sirven al tránsito entre arterias principales y calles locales o menores. Son las calzadas por las que fluye el tránsito dentro de zonas residenciales, comerciales e industriales.

iii) Local o menor. Son calzadas usadas básicamente como acceso a propiedades residenciales, comerciales, industriales u otras zonas colindantes. No incluye calzadas con tránsito del paso.

c) Poblaciones

Las poblaciones se dividirán según el número de habitantes como sigue:

- Clase I - Poblaciones de menos de 5 000 habitantes
- Clase II - Poblaciones de 5 000 a 20 000 habitantes
- Clase III - Poblaciones de 20 000 a 80 000 habitantes
- Clase IV - Poblaciones de 80 000 a 320 000 habitantes
- Clase V - Poblaciones de más de 320 000 habitantes

^{4/} American Standard Practice for Roadway Lighting, op. cit.

7. Valores recomendados

Para satisfacer los cuatro criterios básicos que definen la calidad de un alumbrado público señalados en la sección 3 de esta norma, se requiere, además de tomar en cuenta los factores económicos y de estética, hacer una evaluación detallada de la siguiente información:

- 1) Tipo del desarrollo colindante con la calzada
- 2) Volumen del tráfico nocturno de vehículos y peatones
- 3) Estadísticas de los accidentes del tráfico nocturno
- 4) Estadísticas sobre delincuencia nocturna y requisitos de seguridad
- 5) Tipo y velocidad de vehículos
- 6) Modalidad de estacionamiento
- 7) Características de la calzada
 - Ancho de la calzada o sección pavimentada y número de carriles
 - Características de la superficie del pavimento
 - Pendientes y curvas
 - Localización y ancho de cunetas, aceras y sección total y transversal del camino
 - Tipo y frecuencia de accesos
 - Ancho y ubicación de camellones y áreas de estacionamiento
 - Intersecciones
 - Reducciones y ensanchamientos, etc.
 - Puentes y pasos a desnivel
 - Area de cruce de peatones
- 8) Señales iluminadas adyacentes al camino

a) Valores de niveles de luminancia e iluminación recomendados

Considerando que en la mayoría de los países del Istmo los municipios son los responsables de pagar la energía por alumbrado público, y que su capacidad financiera está en proporción a su problema, se han propuesto distintos niveles de luminancia e iluminación para las cinco clases de población.

Los niveles promedio de luminancia e iluminación del cuadro 5 corresponden a valores medios de servicio, por lo que se obtendrán de los cálculos de diseño, tomando en cuenta los factores de mantenimiento.

Cuadro 5

NIVELES DE LUMINANCIA E ILUMINACION

Tipo de calle y de población	Area					
	Centro		Intermedia		Suburbana	
	\bar{L} cd./m ²	\bar{E} Lux (p-cd.)	\bar{L} cd./m ²	\bar{E} Lux (p-cd.)	\bar{L} cd./m ²	\bar{E} Lux (p-cd.)
Principal						
I	0.25	2.0 (0.18)	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)
II	0.5	4.0 (0.36)	0.25	2.0 (0.18)	0.125	1.0 (0.09)
III	0.75	7.9 (0.83)	0.50	5.25(0.48)	0.25	2.6 (0.24)
IV	1.0	10.5 (0.98)	0.75	7.9 (0.83)	0.50	5.2 (0.48)
V	1.5	15.7 (1.45)	1.0	10.5 (0.98)	0.75	7.9 (0.83)
Colectora						
I	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)
II	0.25	2.0 (0.18)	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)
III	0.5	5.2 (0.48)	0.25	2.6 (0.24)	0.125	1.3 (0.12)
IV	0.75	7.9 (0.83)	0.5	5.2 (0.48)	0.25	2.6 (0.24)
V	1.0	10.5 (0.98)	0.75	7.9 (0.83)	0.5	5.2 (0.484)
Local o menor						
I	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)
II	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)	—	1.0 (0.09)
III	0.25	2.6 (0.24)	0.125	1.3 (0.12)	—	1.0 (0.09)
IV	0.5	5.2 (0.48)	0.25	2.6 (0.24)	0.125	1.3 (0.12)
V	0.75	7.9 (0.83)	0.5	5.2 (0.48)	0.25	2.6 (0.24)

Nota: La conversión de \bar{L} (luminancia promedio) a \bar{E} (iluminación promedio) se hizo utilizando dos relaciones promedios \bar{E}/\bar{L} ; una de valor 8 para las dos primeras clases (I y II) de poblaciones, obtenida de promediar las relaciones \bar{E}/\bar{L} del cuadro 6 para superficies claras con luminaria deslumbramiento medio y con deslumbramiento, y otra de valor 10.5 obtenida de promediar las relaciones \bar{E}/\bar{L} de la misma tabla, también para superficies claras, con luminarias sin deslumbramiento y deslumbramiento medio. Para obtener la misma luminancia con superficies oscuras, la iluminación necesitará ser duplicada.

Cuadro 6

$$\frac{\text{Iluminación promedio en Lux}}{\text{Luminancia promedio cd / m}^2} = \frac{\bar{E}}{L}$$

Tipo de luminaria	Superficie	
	Oscura (Lux/cd./m ²)	Clara (Lux/cd./m ²)
Sin deslumbramiento	24	12
Deslumbramiento medio	18	9
Con deslumbramiento	15	7

b) Niveles de uniformidad

i) Uniformidad de luminancia. Es la relación de la luminancia local del punto de mínima luminancia (L_{\min}) de cualquier punto de la calzada a la luminancia media de la misma. El valor mínimo aceptado para L_{\min}/\bar{L} será de 40 por ciento (valor recomendado por la Commission Internationale de L' Eclairage). La luminancia local de un punto es la luminancia media de una superficie entre 0.1 y 0.3 m de ancho y entre 1 y 3 m de largo.

ii) Uniformidad de iluminación. Es la relación del valor mínimo de iluminación horizontal en la calzada al valor de la iluminación promedio de la misma (E_{\min}/\bar{E}).

Para calles principales o colectoras el valor mínimo de E_{\min}/\bar{E} será de 0.33; para calles secundarias o menores será de 1/6 (valor recomendado por ASA-IES).

c) Limitación del deslumbramiento

Como una solución práctica al problema del deslumbramiento, las luminarias se clasificarán de acuerdo con la forma de su distribución de

luz, en tres categorías (sección 4 b)) cut-off, semi-cut-off y non-cut-off, y se limitará su uso desde el punto de vista de deslumbramiento.

Cuadro 7

LUMINARIAS RECOMENDABLES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE AREAS Y CALZADAS

Tipo de calle y de población	Centro		Intermedia		Suburbana	
	Preferida	Permitida	Preferida	Permitida	Preferida	Permitida
Principal						
I	s/d	d/m	s/d	d/m	s/d d/m	d/m c/d
II	s/d	d/m	s/d	d/m	s/d d/m	d/m c/d
III	s/d	d/m	s/d	d/m	s/d d/m	d/m c/d
IV	s/d	d/m	s/d	d/m	s/d d/m	d/m c/d
V	s/d	d/m	s/d	d/m	s/d d/m	d/m c/d
Colectora						
I	s/d	d/m c/d	s/d d/m	d/m c/d	d/m	d/m c/d
II	s/d	d/m c/d	s/d d/m	d/m c/d	d/m	d/m c/d
III	s/d	d/m	s/d d/m	d/m	d/m	d/m
IV	s/d	d/m	s/d d/m	d/m	d/m	d/m
V	s/d	d/m	s/d d/m	d/m	d/m	d/m
Menor						
I	d/m	c/d	d/m c/d	c/d	d/m c/d	c/d
II	d/m	c/d	d/m c/d	c/d	d/m c/d	c/d
III	s/d d/m	c/d	d/m	c/d	d/m c/d	c/d
IV	s/d d/m	c/d	d/m	c/d	d/m c/d	c/d
V	s/d d/m	c/d	d/m	c/d	d/m c/d	c/d

s/d sin deslumbramiento; d/m deslumbramiento medio; c/d con deslumbramiento.

i) Indices de deslumbramiento molesto. De las dos formas de deslumbramiento, la que más interesa por su efecto en el observador es el deslumbramiento molesto. Investigadores de la Philips llevaron a cabo experimentos encaminados a determinar una escala de valores de deslumbramiento y sus correspondientes efectos en los observadores. Como medio alternativo para la evaluación del efecto de deslumbramiento se propone la escala y la expresión resultantes de esas investigaciones, que se indican en el cuadro 7 y en el inciso e) de la sección 8, respectivamente.

Cuadro 8

INDICES DE DESLUMBRAMIENTO MOLESTO

Indice	Deslumbramiento	Impresión general, nivel de iluminación, uniformidad, visibilidad
1	Insoportable	Mala
2	—	—
3	Molesto	Insuficiente
4	—	—
5	Apenas admisible	Regular
6	—	—
7	Satisfactorio	Buena
8	—	—
9	Inadvertido	Excelente

Nota: En la página 127 se da la expresión para el cálculo del índice de deslumbramiento.

d) Recomendaciones para guías ópticas

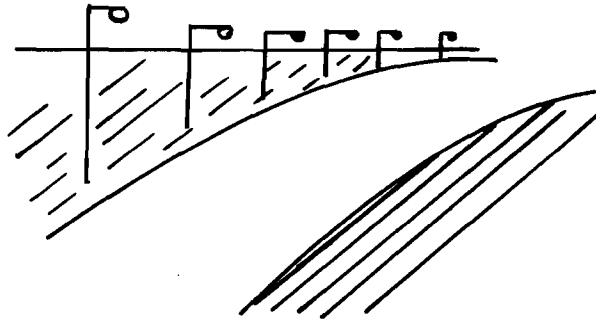
El diseñador de un sistema de alumbrado público deberá planear la ubicación de los arbotantes de tal manera que éstos contribuyan a realzar el alineamiento de la calzada.

A manera de ilustración se presentan en seguida algunas recomendaciones sobre la localización de las luminarias.

Tramos rectos. – Se procurará en lo posible que el alineamiento de las luminarias coincida con el de la calzada.

Curvas. A las curvas con radio de 1 000 metros o mayor se las considerará como rectas.

i) En curvas de calzada de anchos menores de 1.5 veces la altura de montaje se preferirá el arreglo unilateral en el lado exterior de la curva, con espaciamiento interpostal y brazos de luminarias cortos. Cuando se utilicen luminarias largas, deberán montarse en posición horizontal.



ii) En curvas de calzada con anchos de más de 1.5 veces la altura de montaje, se instalarán luminarias en el lado interior de la curva.

8. Métodos y criterios de diseño

El concepto de luminancia incluido en estas recomendaciones se aplicará al diseño de alumbrado de calzadas en las que, por el tráfico de vehículos; las características del diseño son impuestas por las necesidades visuales de los conductores.

El concepto de iluminación se aplicará primordialmente a cables de características básicamente residenciales o comerciales.

En el diseño de un alumbrado público se deberá contar inicialmente con ciertos datos, resultados de la evaluación completa de la información indicada en la sección 7, entre los cuales figuran primordialmente los siguientes:

- a) Planta y perfil de la calzada
- b) El nivel de la luminación promedio o de iluminación
- c) El grado requerido de uniformidad
- d) El índice de deslumbramiento

Habría además que determinar la siguiente información:

- 1) El tipo de luminaria
- 2) La altura de montaje
- 3) El espaciamiento
- 4) El avance de la luminaria
- 5) El tipo de arreglo
- 6) Las propiedades de reflexión de la superficie de la calzada

Como puede observarse, el número de variables permiten un gran número de soluciones para cada caso particular. Sin embargo, el número de soluciones puede reducirse si se adicionan exigencias para la instalación o se incluyen como datos algunos de los seis requisitos enunciados anteriormente. Entre las exigencias que se pueden imponer a la instalación se pueden citar las de naturaleza económica y/o estética.

Suponiendo que se conocen las características de reflexión de la superficie de la calzada se propondrán varios grupos de los anteriores requisitos que satisfagan el nivel de la luminaria promedio (\bar{L}) o de iluminación promedio (\bar{E}), según el caso. A continuación se determinará el índice de deslumbramiento, seleccionándose de entre ellos los que satisfagan este requisito y, por último, se determinará el grado de uniformidad escogiéndose el grupo que mejor cumpla con esta exigencia.

En el orden en que los valores de L, G y U son comprobados no necesariamente será el descrito anteriormente, pudiendo alterarse según el criterio del diseñador. El número de combinaciones de 1), 2), 3), 4) y 5) podrá reducirse con base en la experiencia del diseñador y de las limitaciones locales de materiales y equipos.

a) Cálculo de la luminancia promedio

El valor de la luminancia promedio se determinará por cualquiera de los métodos conocidos.

1) Cálculo de la luminancia promedio (L) por medio de las curvas

La aplicación de la técnica basada en el concepto de luminancia permite tener una idea durante la etapa de diseño, del nivel de luminancia esperado en una instalación. Este método de cálculo resulta rápido y relativamente preciso y se aplicará únicamente a calzadas rectas; para curvas se recomienda utilizar el método de punto-por-punto.

Para la aplicación de este método se requiere la siguiente información:

- a) El flujo luminoso de la lámpara, Φ
- b) La curva de distribución de luz (D) de la luminaria, incluyendo su eficiencia
- c) La altura de montaje (h) de la luminaria
- d) El espaciamiento (s). Distancia a lo largo de la calzada de dos luminarias consecutivas, estén o no en el mismo lado.
- e) El avance de la luminaria, Ov
- f) El ancho de la calzada, w
- g) Las propiedades de reflexión de la superficie de la calzada (q_0 y χ)
- h) La distancia (A) del punto de observación al eje longitudinal de las luminarias.
- i) Curvas $\tau - \gamma$ para los diferentes tipos de superficie de calzada, para cada tipo de luminaria.

La expresión a utilizarse será:

$$\bar{L} = (\tau_n - \tau_i) \frac{\Phi \cdot q_0}{w \cdot s}$$

Donde \bar{L} está en cd/m^2 , Φ en lúmenes, w y s en metros y $(\tau_n - \tau_i)$ y q_0 sin unidades.

Las curvas $\tau - \gamma$ serán dadas para un arreglo unilateral de lado izquierdo, para una altura de montaje de 10 metros, un espaciamiento de 30 metros, ^{5/} puntos de observación (A) a 0, + 3 y + 6 metros y para los cinco tipos de superficies de calzadas establecidos en el cuadro 4.

Para otras alturas de montaje (h) se aplicarán las correcciones pertinentes. Otros espaciamientos no requieren corrección en las curvas.

ii) Cálculo de la luminancia promedio (L) por el método del diagrama de rendimiento de luminancia

En la expresión:
$$\bar{L} = (\tau_n \cdot \tau_i) \frac{\phi \cdot q_0}{w \cdot s}$$

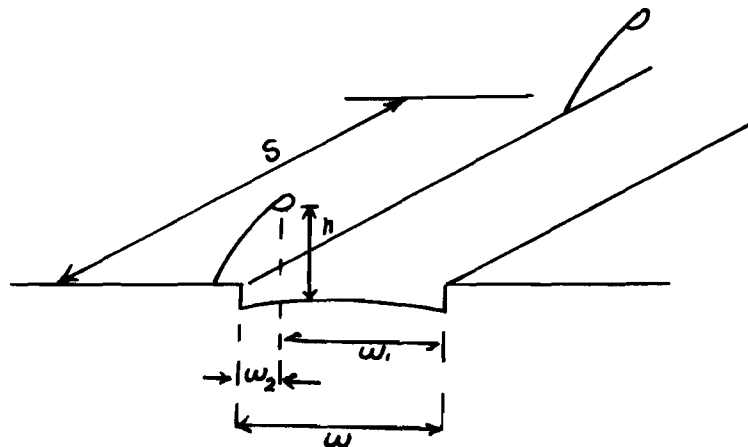
los factores $(\tau_n \cdot \tau_i) \cdot q_0$ pueden combinarse en una sola variable para valor constante de q_0 y así obtener una expresión simplificada.

$$\bar{L} = \eta_L \left(\frac{\phi}{w \cdot s} \right)$$

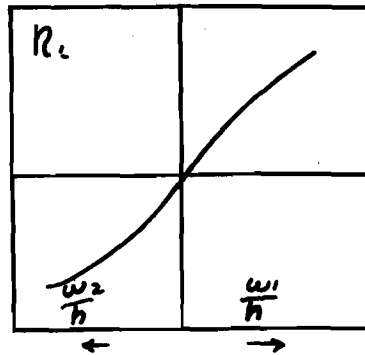
si $\tau_1 = 0$ $\tau_n \times q_0 = \eta_L$ se pueden elaborar las curvas $\eta_L \cdot \frac{w}{h}$

para los cinco tipos de superficies (véase de nuevo el cuadro 4). Si se tuviera otra superficie con un factor especular (χ) igual a cualquiera de los valores establecidos en el cuadro 4 y diferente q_0 , se utilizará la curva $\eta_L \cdot \frac{w}{h}$ correspondiente a la superficie normalizada y el valor η_L encontrado se multiplicará por la relación q_0/q_0

Se dispondrá de las mismas curvas para puntos de observación que en el diagrama $\tau - \gamma$ pero referidas a $\eta_L \cdot w/h$.



^{5/} El fabricante podrá proporcionar las curvas para otro espaciamiento.



$$\bar{L} = \eta_L \frac{\phi}{s w}$$

$$\eta_L = \eta_{L1} + \eta_{L2}$$

η_{L1} para relación $w1/h$
 η_{L2} para relación $w2/h$

b) Cálculo de la iluminación promedio (\bar{E})

La iluminación promedio de una superficie se define como el flujo luminoso incidente dividido por el área de la superficie. La iluminación en un punto es el límite de la iluminación promedio de una superficie, cuando esta tiende a cero. Cuando el flujo luminoso es expresado en lúmenes y el área en m^2 , la iluminación estará en LUX.

$$\text{(Luxes)} \quad \bar{E} = \frac{\phi}{a} \left(\frac{\text{Lúmenes}}{m^2} \right)$$

La iluminación promedio sobre la superficie de una calzada recta se podrá calcular bien utilizando las curvas de coeficiente de utilización, o bien calculando la iluminación de un gran número de puntos y promediando sus valores; se recomienda, por la rapidez del cálculo, el primer método.

La fórmula básica para la determinación de la Iluminación Horizontal Promedio es:

$$E = \frac{k_t \times \phi \times f}{s \times w}$$

Donde:

- \bar{E} : Iluminación Horizontal Promedio en luxes
- ϕ : Flujo luminoso nominal de la lámpara, en lúmenes a 100 horas de servicio
- f : Factor de depreciación (Lámpara + luminaria)
- s : Espaciamiento

/w: Ancho de

w: Ancho de la calzada o superficie de rodamiento

K: Factor de coeficiente de utilización

$$K_T = K_1 + K_2$$

K_1 : Coeficiente de utilización para lado de calle

K_2 : Coeficiente de utilización para lado de casa

Nota 1: El espaciamiento se tomará como la distancia a lo largo de la calzada entre dos luminarias consecutivas estén o no en el mismo lado. Para luminarias en arreglo bilateral opuesto el espaciamiento será la mitad de la distancia entre dos pares de lúminas consecutivas.

Nota 2: El factor de depreciación será proporcionado por el fabricante tanto para la luminaria y lámparas solas como para el conjunto, indicando los períodos base.

Nota 3: El valor del flujo (ϕ) utilizado en la ecuación 1 estará de acuerdo con el factor de depreciación que se utilice.

a) Si se utiliza el flujo luminoso de la lámpara en el momento de remplazo (ϕ_r) se aplicará el factor de depreciación o mantenimiento de la luminaria para encontrar el nivel de iluminación en el momento de reemplazo y limpieza de la lámpara y luminaria, respectivamente.

$$\bar{E}_r = \frac{K \times \phi_r \times f(1)}{s \times w} \quad \text{luxes}$$

Donde:

\bar{E}_r : Iluminación Horizontal Promedio en el momento de reemplazo (luxes)

ϕ_r : Flujo luminoso de la lámpara en el momento de reemplazo (lúmenes)

f (1) : Factor de depreciación o mantenimiento de la luminaria

w : Ancho de la calzada (metros)

s : Espaciamiento (metros)

K : Coeficiente de utilización

b) Si se utilizara el flujo luminoso inicial (ϕ_{100h}) el factor de mantenimiento será 1 y el valor que se obtenga de \bar{E}_{100} será el inicial; este valor de \bar{E}_{100} deberá ser de un valor tal que multiplicado por el factor de mantenimiento nos de el valor mínimo recomendado en el cuadro 5.

/c) Cálculo

c) Cálculo de la iluminación en un punto

En algunos casos se requerirá mantener una relación determinada de uniformidad, que puede ser expresada en términos de E_{\min}/\bar{E} , E_{\min}/E_{\max} , o \bar{E}/E_{\max} . En este caso se determinarán los valores de iluminación en puntos seleccionados sobre la calzada. Para determinar estos valores se utilizarán las curvas isolux que deberán estar a la misma escala que el plano de calzada.

Estas curvas se darán para 1 000 lúmenes y a una altura de montaje de un metro. Los valores reales de iluminación en cada uno de los puntos, se encontrarán multiplicando los valores encontrados por $\frac{\phi}{h^2}$ donde ϕ estará en kilolúmenes y h en metros.

La aportación de las luminarias cercanas a la iluminación de un punto pueden encontrarse con una o dos posiciones del diagrama isolux, según la simetría de las curvas.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de cálculo de iluminación en un punto.

d) Tipos de arreglo (Véase la figura 3)

Se proponen cuatro tipos de arreglos:

1) Unilateral. En este tipo de arreglo, todas las luminarias están sobre un lado de la calzada y por lo general se recomienda cuando el ancho de la misma es igual o menor que la altura de montaje.

2) Bilateral alternado. Las luminarias están situadas en ambos lados de la calzada en formación zig-zag. Se recomienda cuando el ancho de la calzada es mayor que la altura de montaje sin exceder 1,5 veces dicha altura. Proporciona mayor uniformidad de luminancia que el arreglo unilateral y mejor visibilidad en ambos lados de la calle.

3) Bilateral opuesto. Las luminarias están situadas a ambos lados de la calzada, opuestas una a la otra. Se recomienda este arreglo cuando el ancho de la calzada sea mayor que 1,5 veces la altura de montaje.

4) Central. Las luminarias están situadas en el eje de la calzada. Se distinguirán dos subtipos: central simple y central doble. Tiene el inconveniente de atraer la atención del conductor hacia el centro de la pista y de reducir la luminancia en sus bordes, que es donde justamente pueden aparecer los obstáculos. Puede aprovecharse este arreglo en calzadas con aceras arboladas, donde los anteriores arreglos no ofrecen una buena solución.

e) Cálculo del índice de deslumbramiento

Para obtener los índices de deslumbramiento señalados en la sección 7-d-i se utilizará la expresión:

$$G = 13.82 - 3.31 \log I_{80} + 0.97 \log \bar{L} + 4.41 \log h' + \log (I_{80} / I_{88} \cdot 0.9) + \log F - 1.46 \log p \quad \text{--- (ecuación 2)}$$

Donde:

I_{80} : Intensidad luminosa a 80° de la vertical hacia abajo, en Candelas (cd)

\bar{L} : Luminancia promedio, en cd/m^2

h' : Altura de observación (h-ho) en metros; $h_o = 1.50$ m

I_{88} : Intensidad luminosa a 88° , en candelas

F : Area iluminada proyectada de la fuente luminosa, en m^2

p : Número de luminarias por kilómetro

La expresión anterior se aplica a lámparas fluorescentes e incandescentes. Para lámparas de sodio, el valor de G será incrementado en 0.4 y para lámparas mercuriales G será disminuido en 0.1.

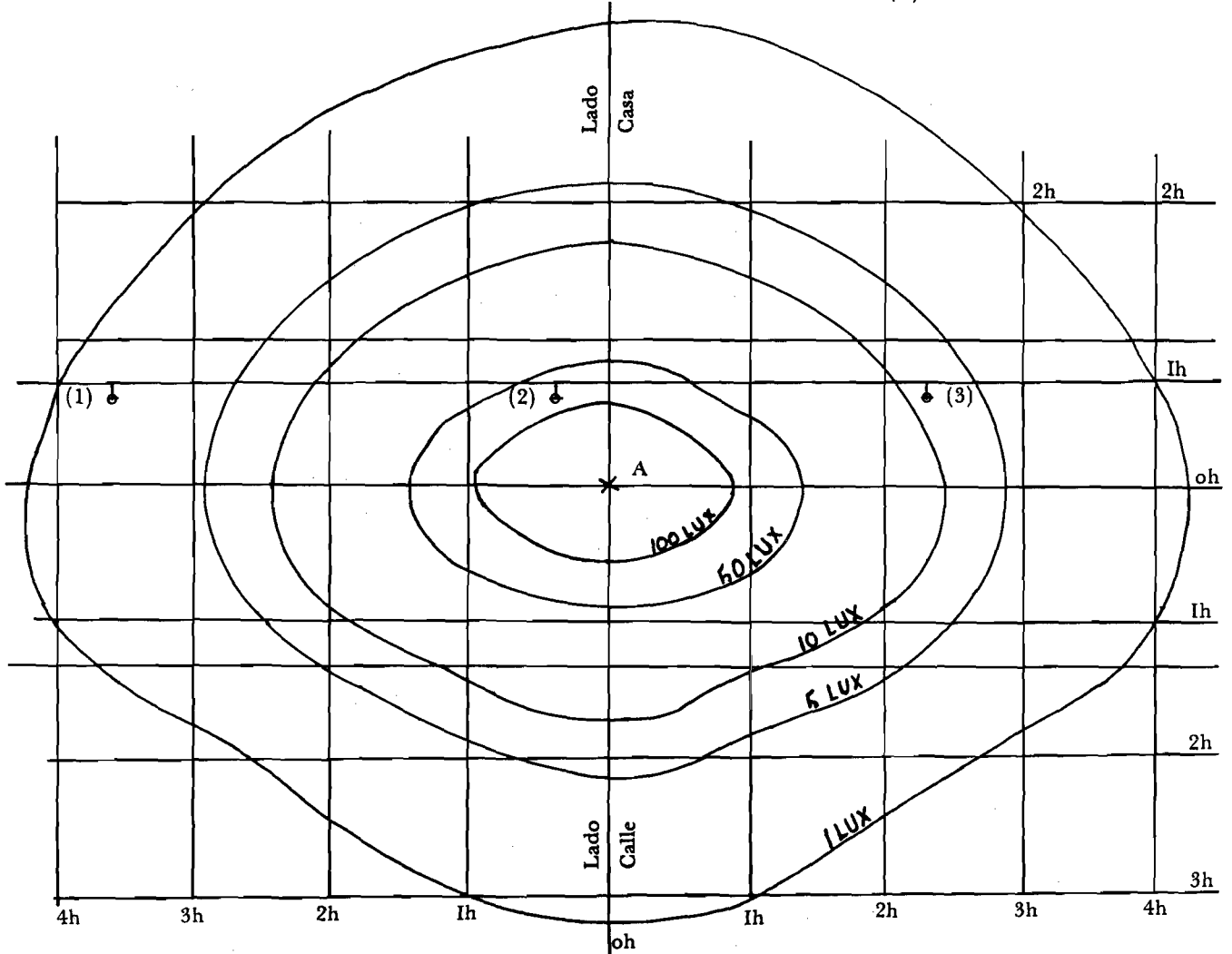
f) Altura de montaje

La altura mínima de montaje será seleccionada tomando en cuenta la potencia de la lámpara, la distribución de luz de las luminarias y la geometría de la instalación. La altura de montaje será mayor en lámparas de gran potencia, para evitar deslumbramiento y en calzadas anchas, para obtener una uniformidad transversal adecuada. Como regla general, la altura de montaje variará entre 8 y 10 metros. Se podrán aceptar alturas menores de 8 metros en alumbrado de zonas residenciales o calzadas bordeadas con árboles.

En el cuadro 9 se presentan las alturas recomendadas para los tres tipos de luminarias, según la clasificación IES-ANSI.

Figura 2

EJEMPLO DE CALCULO DE ILUMINACION EN UN PUNTO (A)



Datos : $\phi = 20\ 000$ lúmenes
 $h = 8$ metros
 $s = 24$ metros

Curvas isolux dadas para : $\phi = 1\ 000$ lúmenes
 $h = 1$ metro

- $E_1 - 3$ Lux
- $E_2 - 80$ Lux
- $E_3 - 8$ Lux

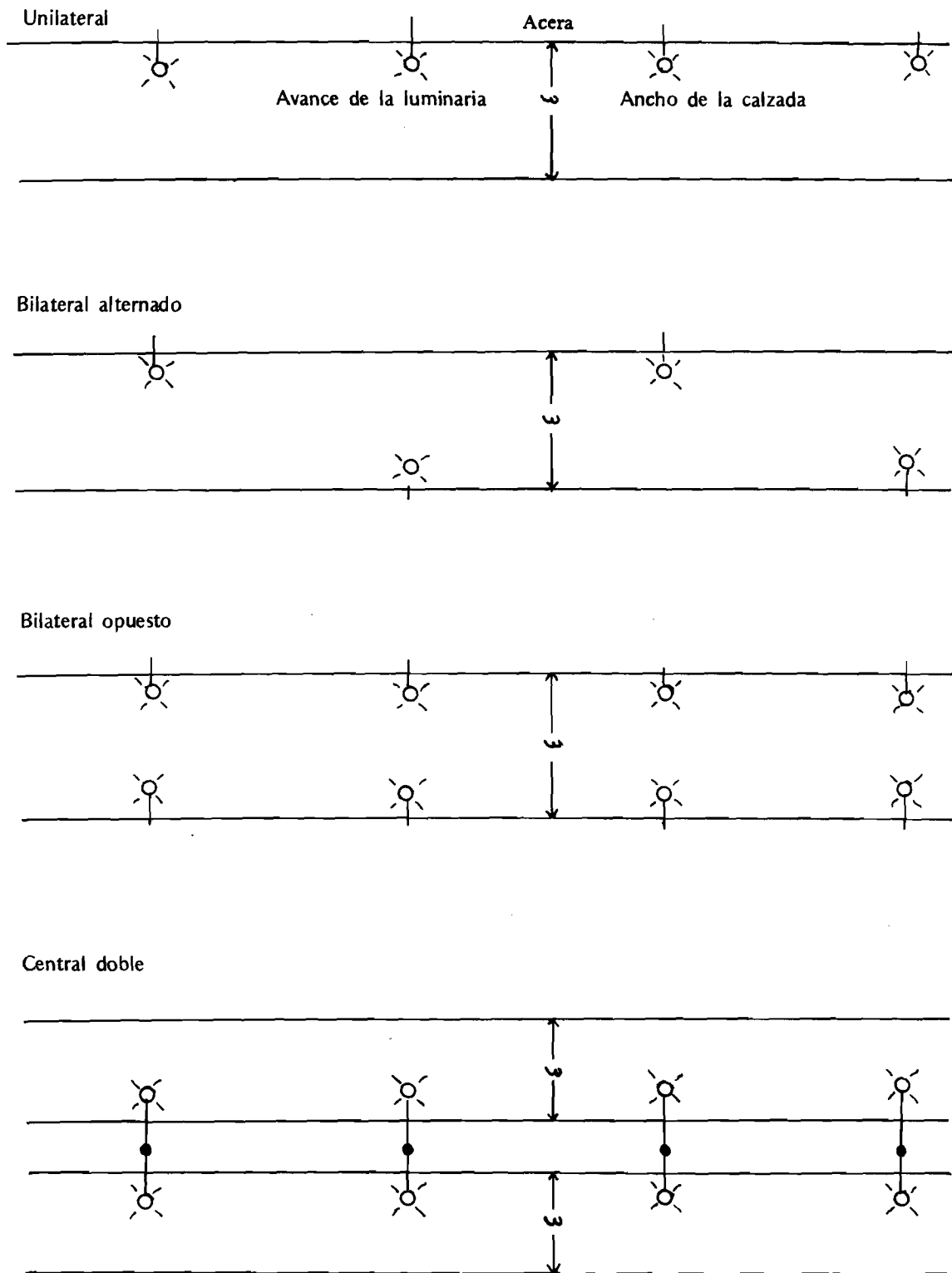
$E_A - 91$ Lux

Para 1 metro de altura y 1 000 lúmenes

$E_A - 91 \times \frac{20}{64} = 28.5$ Lux Para 8 metros de altura y 20 000 lúmenes

Referencia : Luminaria IESCASA - DM3/400

Figura 3
TIPOS DE ARREGLOS



Cuadro 9.a/

ALTURAS MINIMAS DE MONTAJE DE LUMINARIAS

Máxima intensidad luminosa (Candelas)	Altura mínima de montaje		
	Cut-off <u>b/</u> (metros)	Semi cut-off <u>b/</u> (metros)	Non-cut-off <u>b/</u> (metros)
Menos de 5 000	6.10	6.10	7.60
Menos de 10 000	6.10	7.60	9.10
Menos de 15 000	7.60	9.10	10.60
Sobre 15 000	9.10	10.60	12.20

a/ Referencia IES, American Standard Practice for Roadway Lighting, 1963

b/ Esta clasificación corresponde a la IES-ANSI

g) Espaciamientos máximos

El espaciamiento se define como la distancia paralela al eje de la calzada entre dos luminarias consecutivas.

Para poder conservar en buen grado de uniformidad longitudinal, el espaciamiento no será mayor que los máximos establecidos.

Cuadro 10

Tipo de luminaria	Relación máxima espaciamiento/ altura de montaje
Sin deslumbramiento	4.28
Deslumbramiento medio	7.46
Con deslumbramiento	--

Los espaciamientos máximos anteriores se fijaron considerando que los puntos de intensidad máxima de dos luminarias consecutivas coinciden sobre la calzada.

En el cuadro 11 se incluyen los espaciamientos máximos recomendados por ASA-IES en su clasificación lateral y longitudinal de luminarias.

Cuadro 11

LIMITES DE ESPACIAMIENTOS RECOMENDADOS POR ASA-IES

Tipo IES-ANSI	Clasificación longitudinal IES-ANSI		
	Corta "C" Límites de es- paciamento	Media "M" Límites de espaciamento	Larga "L" Límites de espaciamento
Tipo I - para calles con un ancho hasta de 2 h	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo I - 4 vías	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo II - para calles con un ancho hasta de 1.75 h	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo II - 4 vías	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo III - para calles con un ancho hasta 2.75 h	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo IV - para calles con un ancho mayor de 2.75 h	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h
Tipo V - para alumbrado general de áreas	2 h a 4.5 h	4.5 h a 7.5 h	7.5 h a 12 h

Nota: h = altura de montaje.

La altura de montaje y el espaciamento estarán, en todo caso, relacionados con el índice de deslumbramiento ($E_c 2$), por lo que la selección final de éstos se hará después de tanteos en la expresión anterior, variando dentro de los valores recomendables los diversos parámetros que intervienen en ella.

