



Standards System for Fire Protection. Protection Against Atmospheric Electric Discharges. Classification and General Requirements

Система стандартов противопожарной охраны. Защита против атмосферных электрических разрядов. Классификация и общие требования

Esta norma establece la clasificación y los requisitos generales de seguridad para la protección de los objetivos contra incendios o explosiones que puedan ser producidos por descargas eléctricas atmosféricas.

Se aplicará en los proyectos, construcción de nuevas obras, reconstrucción y ampliación de objetivos, así como en obras existentes.

Esta norma no es aplicable en la proyección y construcción de los casos siguientes:

- 1- Estaciones y subestaciones eléctricas
- 2- Líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica
- 3- Antenas de radio y televisión no situadas en objetivos
- 4- Líneas aéreas telefónicas y de comunicación en general.

## 1. Generalidades

- 1.1 Para la clasificación de los locales con peligro de incendios o explosión, los grados de resistencia al fuego de las construcciones y las categorías de peligrosidad se consultará con la NC 96-02-03:87 "Sistema de Normas de Protección Contra Incendios. Locales o áreas con peligro de explosión o incendios. Clasificación", NC 96-02-01:87 "Sistema de Normas de Protección Contra Incendios. Resistencia al fuego de las Construcciones", y NC 96-02-02:87 "Sistema de Normas de Protección Contra Incendios. Construcción de edificios industriales y almacenes. Requisitos generales"

## 2. Términos y definiciones

2.1 Descargas eléctricas atmosféricas. Fenómenos físicos generales por descargas bruscas de corriente eléctrica en el sistema tierra-atmósfera.

Término permisible: Rayo

2.2 Golpe directo de una descarga. Acción de la descarga eléctrica atmosférica al proyectarse directamente sobre un objetivo.

2.3 Objetivo. Edificios, construcciones, instalaciones o estructuras que se protegen contra descargas eléctricas atmosféricas.

2.4 Efectos secundarios de una descarga. Arcos eléctricos producidos en los objetivos debido a la inducción electrostáticas y electromagnéticas y por la acumulación de elevados potenciales, a causa de las descargas eléctricas atmosféricas sobre el objetivo o cerca de éste.

2.5 Sistema de protección. Conjunto de elementos destinados a garantizar la integridad y seguridad de las personas, animales y objetivos, excluyendo la posibilidad de ocurrencia de explosiones, incendios o destrucciones, ante la acción de descargas eléctricas atmosféricas.

2.6 Zona de protección de un pararrayo. Espacio dentro del cual un pararrayo protege a un objetivo de golpe directo de una descarga eléctrica atmosférica con determinado grado de seguridad.

Nota. Las zonas se clasifican en dos tipos:

- Zona A: Zona que posee un grado de seguridad igual o mayor que 99,5%
- Zona B: Zona que posee un grado de seguridad menor que 99,5%.

2.7 Pararrayos. Sistemas o dispositivos destinados a proteger los objetivos del impacto directo de las descargas eléctricas atmosféricas y conducirla a tierra (véase Anexo A).

Nota. El sistema o dispositivo está formado por los siguientes elementos principales:

- Terminal aéreo o malla terminal aérea
- Conductores de bajada o bajante.
- Puente
- Junta
- Terminal de tierra

- Toma a tierra

- Soporte.

2.8 Terminal aéreo. Elemento metálico del sistema de Protección destinado a interceptar las descargas eléctricas atmosféricas. Pueden ser:

- de punta

- cable horizontal entre dos mástiles

- mallas aéreas sobre la cubierta del objetivo.

2.9 Conductor de bajada. Conductor eléctrico que establece la conexión entre un terminal aéreo con un terminal de tierra.

Término permisible: Bajante.

2.10 Puente. Conductor eléctrico destinado a proporcionar la conexión eléctrica entre dos o más partes del sistema de protección.

2.11 Junta. Unión que permite la continuidad eléctrica entre dos o más partes componentes del sistema de protección.

2.12 Junta de pruebas. Junta diseñada y situada de forma tal que permita realizar mediciones de referencia a tierra o de continuidad.

2.13 Terminal a tierra. Elemento metálico del sistema de protección destinado a descargar las corrientes producidas por descargas eléctricas atmosféricas en la masa general de la tierra.

Nota. Toda la parte por debajo de la junta de pruebas en un conductor de bajada está incluida en este término.

2.14 Toma a tierra o electrodo. Elemento metálico soterrado del terminal de tierra que hace contacto eléctrico directo con la tierra.

Nota. La toma a tierra puede ser artificial o natural.

2.15 Soporte. Dispositivo destinado a asegurar los elementos del sistema de protección al objetivo o estructura que lo sostiene.

2.16 Mástil. Apoyo del terminal aéreo del sistema de pararrayos. Se aplica para los terminales aéreos en forma de punta o cable horizontal.

2.17 Pararrayo de punta. Dispositivo vertical, que se coloca en el objetivo que se protege o cerca de él.

Nota. Los tipos de pararrayos de punta son:

Simple. Constituido por una sola punta

De dos puntas. Cuando con dos dispositivos verticales actuando de conjunto se forma una zona de protección única.

De varias puntas. Cuando está compuesto por tres o más dispositivos, que actuando de conjunto forman una zona de protección única.

2.18 Pararrayos de cable. Dispositivo formado por un cable horizontal fijado sobre mástiles, por cada uno de los cuales se coloca un conductor de bajada conectado a una toma a tierra junto a la base. Los apoyos de los mástiles se pueden colocar en el objetivo que se protege o en sus proximidades.

2.19 Resistencia de impulso de las tomas a tierra. Resistencia eléctrica de las tomas a tierra con respecto a la tierra, durante el fenómeno transitorio de la circulación de la corriente de la descarga eléctrica atmosférica.

Nota. Esta resistencia no se mide por los métodos de uso general.

2.20 Resistencia a frecuencia industrial de las tomas a tierra. Resistencia eléctrica de las tomas a tierra durante la circulación de una corriente de frecuencia industrial.

Nota. Esta resistencia se mide por los métodos de uso general.

2.21 Inducción electrostática. Inducción de potenciales en objetos terrestres como resultado de las variaciones del campo eléctrico originadas por la nube de tormenta, la que puede provocar el surgimiento de chispas entre elementos metálicos de las estructuras y de los equipos.

2.22 Inducción electromagnética. Inducción de potenciales en contornos metálicos no cerrados como resultado de las variaciones rápidas de la corriente producida por la descarga eléctrica atmosférica, lo que puede provocar el surgimiento de chispas en los puestos de acercamiento de estos contornos.

2.23 Categoría de protección. Clasificación de los sistemas de protección de acuerdo al índice de peligrosidad y la posibilidad de explosiones, incendios o destrucciones

de los objetivos que protege, por la incidencia de las descargas eléctricas atmosféricas. Se clasifican en tres tipos. (Véase tabla 1)

### 3. Clasificación

3.1 La clasificación de los sistemas de protección se definen en la Tabla 1.

Tabla 1

No.	Objetivo y características	Categoría del Sistema	Zona de Protección Requerida
1	2	3	4
1	Objetivos, locales o áreas con peligro de explosión Pex-1 y Pex-2	I	Zona A
2	Objetivo, locales o áreas con peligro de explosión Pex-1a, Pex-1b y Pex-2a	II	$N > 1$ Zona A $N \leq 1$ Zona B
3	Instalaciones tecnológicas exteriores y almacenes a la intemperie con peligro de explosión Pex-1c	II	Zona B
4	Objetivos, locales o áreas con peligro de incendios $P_i -1$ , $P_i -2$ y $P_i -2A$ .	III	Zona B Objetivos con I y II grado de resistencia al fuego y $0.1 < N \leq 2$ .  Objetivos con III, IV y V grados de resistencia al fuego y $0.05 < N \leq 2$  Zona A $N > 2$
5	Instalaciones tecnológicas exteriores y almacenes a la intemperie con peligro de incendios  $P_i -3$	III	Zona B

**Tabla 1 (conclusión)**

1	2	3	4
6	Naves pecuarias y centros avícolas de III, IV y V grados de resistencia al fuego	III	Zona B
7	Casas de curar tabaco	III	Zona B
8	Chimeneas y torres de industrias con categorías de producción A, B o F.	III	Zona B

**Notas:**

- 1) Todo lo planteado en la presente norma será aplicable en los casos de objetivos cuya clasificación esté fuera del alcance de la tabla 1
- 2) Los objetivos destinados a la utilización, producción o almacenamiento de sustancias explosivas, se protegerán con sistemas de categorías I

Se exceptúan Construcciones Especiales del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias.

- 3) Para determinar el tipo de Zona A o B (véase Anexo B)
- 4) La probabilidad de golpes (N) en un año en objetivos sin sistemas de protección, se determina por la ecuación siguiente:

$$N = (S + 6hx) \cdot (L + 6hx) \cdot n \cdot 10^6$$

donde:

hx altura del objetivo (m)

L longitud del objetivo (m)

S Anchura del objetivo (m)

n número promedio de descargas eléctricas atmosféricas por 1 km<sup>2</sup> de superficie terrestre (véase Tabla 2).

Nota. En las configuraciones irregulares para el cálculo de N las magnitudes S y L se toman del menor rectángulo que incluya la superficie de todo el objetivo.

- 5) El número promedio por año de descargas eléctricas atmosféricas por km<sup>2</sup> de superficie terrestre (n) se determina en función de la intensidad promedio días tormentas por año (nd) según la tabla 2.

Tabla 2 Número promedio de descargas eléctricas atmosféricas por km<sup>2</sup> de superficie terrestre

Intensidad promedio día tormenta por año (nd)	Número promedio de descargas eléctricas atmosféricas por km <sup>2</sup> de superficie terrestre (n)
Hasta 60	3
Más de 60 hasta 70	6
Más de 70 hasta 90	9
Más de 90	12

6) La intensidad promedio días tormentas por año (nd) aparece reflejado en el mapa Isokeraunico de Cuba (véase Anexo C)

#### 4. Requisitos generales

- 4.1 En los objetivos que tengan locales que requieran sistemas de protección con categoría I y II, I y III o II y III se instalarán sistemas de protección por cada categoría, de no ser posible, se protegerá por la categoría de mayor peligrosidad.
- 4.2 Las canalizaciones metálicas interiores aéreas y soterradas (tuberías, cables y otros) que penetren a locales que requieran sistemas de protección de categoría I y II serán conectadas a tomas a tierra especiales (independientemente de las tomas a tierra de los sistemas de pararrayo) y ubicados a la entrada de éstos. La resistencia a frecuencia industrial no excederá los 10 Ω.
- 4.3 Cuando sólo una parte de los locales de un objetivo requieran sistemas de protección con categoría I, II y III (según tabla 1), el resto de los locales será suficiente defenderlo de la acumulación de elevados potenciales por medio de conexiones a tierra de las canalizaciones metálicas en la entrada de los mismos, según lo establecido para cada sistema de protección.
- Categoría I, de acuerdo a los apartados 5.1.7 y 5.1.8
  - Categoría II, de acuerdo a los apartados 5.2.3.12 y 5.2.3.13
  - Categoría III, de acuerdo al apartado 5.3.8.

- 4.4 En los objetivos con altura igual o mayor que 20 m, en fase de construcción, en el período de mayor intensidad promedio de tormentas (mayo a octubre), se instalarán sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.
- 4.5 Todo sistema de protección tendrá no menos de dos conductores de bajada.
- Se exceptúan los casos en que sean utilizados como bajantes del sistema la estructura de los objetivos, mástiles o chimeneas metálicas.
- 4.6 Todos los empalmes y uniones del sistema serán eléctricos y mecánicamente sólidos. Estas uniones se realizarán preferiblemente soldadas.
- 4.7 Cada conductor tendrá una junta de prueba (Registro de comprobaciones) la que se situará de forma tal que permita realizar mediciones de resistencias a tierra y continuidad. Se exceptúa de este requisito, los sistemas a tierra en cimientos, a los bajantes que forman parte de la estructura del edificio y están embebidos en columnas u otros elementos estructurales.
- 4.8 En calidad de receptores en sistemas de pararrayos por mallas y como conductores a tierras pueden utilizarse:
- Conductores de cobre para pararrayos (equivalente al 1/0 A.W.G)
  - Planchuela de acero galvanizados de (3 . 30) mm.
  - Cable de acero galvanizado trenzado de 10 mm de diámetro nominal
  - Barras redondas lisas de 10 mm de diámetro nominal de acero galvanizado.
- 4.9 Los soportes de sistema de pararrayos (mallas aéreas) en el caso de cubiertas ligeras se instalarán a la estructura de manera que garantice que el elemento no se mueva.
- 4.10 El valor de la resistencia de frecuencia industrial de los sistemas de pararrayos, se comprobarán una vez concluida la instalación con medios de medición adecuados, teniendo en cuenta el apartado 5.1.2.
- 4.11 La resistencia de impulso se calculará mediante la ecuación siguiente:

$$R_i = k R_f$$



donde:

$R_i$  magnitud de la resistencia de impulso ( $\Omega$ )

$R_f$  magnitud de la resistencia de frecuencia industrial ( $\Omega$ )

$k$  coeficiente de impulso, cuyos valores se determinan según la tabla 3.

Tabla 3 Resistividad de los suelos y valores del coeficiente

Sistema de tomas a tierra	Resistividad de los suelos ( $\Omega \cdot m = \rho$ )					
	Menor que 100	100	500	1 000	2 000 ó más	
	Valores del coeficiente " k "					
Combinación de electrodos	a	0,9	0,7	0,5	0,3	-
Electrodos Verticales	b	0,9	0,9	0,7	0,5	0,35

Nota. En la etapa de proyecto se asumirán los valores de resistencia a tierra, en dependencia del tipo de anclaje, y la resistividad del terreno, según el anexo D. Durante el diseño del sistema de protección, se pueden emplear los valores dados en el anexo para la resistencia a tierra a frecuencia industrial de distintas configuraciones de electrodos según la resistividad del terreno. Los valores de la resistividad se hará en el terreno a todo tipo de categoría.

4.11.1 Los valores de la resistividad ( $\rho$ ) del terreno se calculará en el lugar, mediante los métodos establecidos y el valor obtenido se utilizará para el cálculo de acuerdo a la categoría de protección.

4.11.2 Las tomas a tierra del sistema se colocarán a una distancia  $S_2$  de las canalizaciones metálicas soterradas y cables eléctricos. El cálculo de  $S_2$  se hará por la siguiente fórmula:

$$S_2 = 0,5 R_i \text{ para protección por mástiles únicamente}$$

$$S_2 = 0,3 R_i \text{ para protección por mástiles y cable}$$

donde:

0,5 y 0,3 constantes numéricas

Ri magnitud de la resistencia de impulso en cada toma a tierra para la protección de los golpes

- 4.11.3 Las distancias  $S_2$  no será menor que 3 m. Se exceptúan aquellos casos en que las tuberías metálicas soterradas y los cables no pasen a través del objetivo a proteger y la distancia hasta el lugar de entrada a objetivos aledaños que requieran sistemas de protección de la categoría I, sea mayor que 50 m, permitiéndose reducir la distancia  $S_2$  hasta 1 m.
- 4.12 Para la instalación de los bajantes se tendrá en cuenta que desciendan de una línea recta por la edificación, y la entrada del conductor será perpendicular hasta una profundidad no menor que 0,80 m. A partir de esa profundidad podrá tomar el ángulo necesario para conectarse a la toma de tierra.

En caso de encontrarse con elementos salientes en la fachada, éstos se atravesarán o se bordearán según las especificaciones del Anexo E.

## 5. Requisitos para los sistemas de protección según su categoría

### 5.1 Categoría I

- 5.1.1 Los objetivos que requieran sistemas con categoría I se protegerán contra golpes directos de las descargas eléctricas atmosféricas por medio de una de las siguientes formas:

- a) Mástiles separados del objetivo
- b) Mástiles sobre el objetivo
- c) Cables aéreos (protector entre mástiles)

La zona de protección creada por dichos mástiles cubrirá el objetivo en su totalidad. En todos los casos cumplirán las exigencias de la zona de protección A. (Véase Anexo A y B).

- 5.1.2 El valor de la resistencia de impulso para esta categoría no será mayor que  $10 \Omega$ .

- 5.1.2.1 En los suelos con resistividad igual o mayor que  $500 \Omega \cdot m$  se permite aumentar la resistencia de impulso de las tomas a tierra hasta  $40 \Omega$ .

- 5.1.3 En los objetivos con tubos de respiración o escape por los cuales se expulsan a la atmósfera gases y va-

pores de concentraciones con peligro de explosión o incendios, independientemente que estén equipados con protector de fuego, se calculará una zona sobre éste que quede incluida dentro de la zona de protección del pararrayo.

Para calcular la zona a proteger sobre el conducto, se aplicará la siguiente fórmula:

$$R = 6 d.$$

donde:

- 6      constante numérica
- R      radio de protección
- d      diámetro del tubo

5.1.3.1 A los tubos de respiración con campanas o del tipo cuello de ganso, se le colocará una zona de protección sobre éstos que quedará totalmente incluida dentro de la zona de protección del pararrayo.

Para calcular la zona sobre el conducto a proteger se tendrá en cuenta lo establecido en la tabla 4.

Tabla 4    Parámetro para determinar la zona de protección

Tipos de gases o vapores	Presión sobre la normal de los gases o vapores kPa (atm)	Altura de protección H (m)	Radio de protección R (m)
Más pesado que el aire	Menor que 5,07 (0,05)	1	2
	De 5,07 (0,05) a 25,3 (0,25)	2,5	5
Más ligeros que el aire	Hasta 25,3 (0,25)	2,5	5

5.1.3.2 La zona de protección sobre los conductos no será calculada en los casos siguientes:

1. Conductos que expulsen gases o vapores cuyas concentraciones no representen peligro de explosión o incendio
2. Conductos que expulsen nitrógeno
3. Conductos con llamas perenne y gases que combustionan al contacto con la atmósfera
4. Conductos de ventilación (Extracción)
5. Válvulas de seguridad y averías.

5.1.4 Los objetivos que requieren sistemas de protección con categoría I, se defenderán de la inducción electrostática mediante la conexión a tierra de las partes metálicas dentro del objetivo a defender, así como las estructuras metálicas, a una toma a tierra para este fin o a las de tierra de los equipos eléctricos. Estas tomas tendrán como máximo una resistencia de disipación de la corriente de frecuencia industrial de  $10 \Omega$  mediante un conductor independiente.

La distancia entre estas tomas a tierra y la de los pararrayos destinados a soportar el golpe directo, se calcula mediante las fórmulas del apartado 4.12.2 de la presente norma, sin que sea mayor que 3,00 m.

5.1.5 Los puntos donde las tuberías y otras instalaciones metálicas se acerquen a una distancia menor o igual que 10 cm, se protegerán de la inducción electromagnética uniéndose las mismas por medio de puentes metálicos soldados colocados a una distancia de 20 m, para evitar la formación de circuitos abiertos.

5.1.5.1 Las uniones o empalmes entre estos elementos tendrán como máximo una resistencia de contacto de  $0,03 \Omega$  cada una. Las conexiones o empalmes se harán con planchuelas de acero de sección no inferior que 24 mm o con perfiles redondos de acero de diámetro no menor que 5 mm.

5.1.6 En los locales que requieran protección de categoría I se prohíbe el uso de los conductores neutros del sistema para poner a tierra equipos u otros elementos metálicos, para esto será necesario utilizar un conductor independiente.

5.1.7 Las canalizaciones metálicas soterradas o en el interior de túneles y canales se anclarán a tierra en los puntos de entrada a los objetivos conectándose a las tomas a tierra que se utilicen para evitar la inducción electrostática o a las tomas a tierra de los equipos eléctricos.

5.1.8 La protección de las estructuras y canalizaciones metálicas aéreas exteriores contra la acumulación de potenciales altos se realizará de la forma siguiente:

- En la entrada al objetivo protegido mediante la conexión de los mismos a la tierra de protección contra inducción electrostática
- En los dos apoyos más cercanos al edificio mediante la conexión a tomas a tierra con resistencia de impulso no mayor que  $10 \Omega$ .

5.1.9 En el edificio protegido, la entrada de redes eléctricas de bajo voltaje (hasta 1 000 V), redes telefónicas y redes de radio y señalización se hará únicamente con cables.

El blindaje y la cubierta metálica de los cables se conectarán en su entrada al objetivo a la tierra de protección de los equipos eléctricos.

5.1.9.1 En el punto de transmisión de las líneas aéreas al cable, el blindaje y la cubierta metálica del cable se conectarán a una toma a tierra con resistencia de impulso no mayor que  $10 \Omega$ , a la que también se conectarán los tornillos de fijación de los aisladores de la línea aérea.

Los tornillos de los aisladores en el poste anterior a la transmisión al cable se conectarán a una toma a tierra con una resistencia de impulso no mayor que  $20 \Omega$ .

## 5.2 Categoría II

5.2.1 Los objetivos que requieran sistemas de categoría II se protegerán contra golpes directos de descargas eléctricas atmosféricas y cumplirán con lo establecido en el apartado 5.1.1, además de los objetivos que se protegerán con mallas metálicas.

5.2.1.1 Cada tipo de pararrayos tendrá como mínimo dos conductores de bajada y estarán colocados en los extremos diametralmente opuestos al objetivo. En caso que las tomas a tierra estén separadas y unidas entre sí formando un circuito cerrado, los conductores de bajada estarán situados a no más de 25 m entre sí, a través de todo el perímetro del objetivo.

5.2.1.2 Las mallas receptoras en este tipo de categoría serán construidas con los materiales especificados en el apartado 4.9. Las celdas de las mallas tendrán una superficie no mayor que  $36 \text{ m}^2$ .

- 5.2.1.3 Todas las estructuras metálicas del objetivo a defender (columnas, vigas, escaleras de incendios y otros) se conectarán a tierra y se garantizará la continuidad eléctrica de los mismos.
- 5.2.1.4 A los elementos no metálicos del objetivo, situados sobre el techo, se le instalarán receptores complementarios conectados a la red o malla.

Los conductores de bajada estarán conectados a las terminales aéreas o techos metálicos con sus respectivas tomas a tierra a no más de 25 m entre sí a través de todo el perímetro del edificio.

- 5.2.1.5 Para este tipo de categoría se cumplirán las exigencias siguientes:
- a) La magnitud de la resistencia de impulso de cada toma a tierra contra los golpes directos no será mayor que  $10 \Omega$  en suelos con resistividad igual o mayor que  $500 \Omega \cdot m$  se permite aumentar la resistencia de impulso de las tomas a tierra hasta  $40 \Omega$ .

En suelos con resistividad menor o igual que  $500 \Omega \cdot m$  se utilizará en calidad de tomas a tierra dos cimientos de hormigón armado de los objetivos

- b) De acuerdo a las posibilidades se recomienda unir las tomas a tierra que resistan los golpes directos, a las de inducción electrostática y a los de los equipos eléctricos.

- 5.2.1.6 En los objetivos que requieran sistemas de protección de categoría I y II se prohíbe el uso de los conductores del sistema para poner a tierra equipos u otros elementos metálicos, para esto será necesario utilizar un conductor independiente.

- 5.2.2 Para igualar los potenciales en el interior de los objetivos con más de 100 m de anchura se instalarán tomas a tierra compuestas por electrodos horizontales de acero galvanizado o cobre con sección transversal mínima de  $100 \text{ m}^2$ . Estos electrodos irán soterrados a no menos de 0,5 m de profundidad y a una distancia entre ellos de 60 m como mínimo según la anchura del edificio. En los extremos de éste, los electrodos se conectarán a las cerchas metálicas, a las tomas a tierra exteriores o al acero de refuerzo de los cimientos de hormigón armado.

Cuando se empleen como tomas a tierra los cimientos de hormigón armado de las columnas interiores, las

que tienen continuidad eléctrica con la malla terminal aérea, no se exige la instalación de los electrodos horizontales cada 60 m para igualar los potenciales en el interior del edificio.

5.2.3 Las instalaciones exteriores que requieran sistemas de protección con categoría II se protegerán contra golpes directos de descargas eléctricas atmosféricas y de la inducción electrostática.

5.2.3.1 Las instalaciones metálicas exteriores que contengan gases y vapores con peligro de explosión y líquidos inflamables (instalaciones Pex-1c) así como gas licuado, se protegerán de los golpes directos por una de las formas siguientes:

- a) Mástiles separados o sobre el objetivo, cuando el espesor de los techos o chapas metálicas de las instalaciones o recipientes aislados sea menor que 4 mm.
- b) Conexión a tierra, cuando el espesor de los techos o chapas metálicas de las instalaciones o recipientes con volumen hasta 200 m<sup>3</sup>, sin tener en cuenta el espesor de la chapa metálica.
- c) En todos los casos el aterramiento de los tanques se hará de acuerdo a la NC 96-38:83 "Protección Contra Incendios. Tanques de Almacenamiento de petróleo y sus derivados. Conexiones e instalaciones".

5.2.3.2 Las instalaciones exteriores de hormigón armado clasificadas como Pex-1c estarán protegidas de golpes directos mediante mástiles separados o sobre el objetivo.

5.2.3.3 Las instalaciones exteriores de gas licuado con volumen de almacenamiento superior a 8 000 m<sup>3</sup>, al igual que las áreas exteriores de tanques metálicos y de hormigón armado clasificados como Pex-1c con volumen de almacenamiento superior a 100 000 m<sup>3</sup> estarán protegidos de golpes directos mediante mástiles separados.

En los casos de tanques metálicos defendidos por mástiles separados, dichos tanques estarán conectados a tomas a tierra.

Además se permite unir los pararrayos a las tomas a tierra de los tanques.

5.2.3.4 Las bases de almacenamiento de tanques de hormigón armado soterrados (siñ recubrimiento interior con láminas metálicas) clasificados como Pex-1c estarán protegidos de los golpes mediante mástiles separados. La zona de protección de estos pararrayos sobrepasarán los límites de la base de almacenamiento de 40 m a partir del extremo del último recipiente hacia todas las direcciones, y la altura será igual a la altura de los respiraderos o válvulas de presión y vacío más 2,5 m.

5.2.3.5 Las bases de almacenamiento de tanque soterrados de hormigón armado que contengan petróleo, estarán protegidos de los golpes directos mediante mástiles separados.

La zona de protección de estos pararrayos cubrirán toda la base de almacenamiento y la altura será igual a la altura de los respiraderos o válvulas de seguridad más 2,5 m.

5.2.3.6 Las instalaciones de refinación de petróleo y sus derivados estarán protegidos de los golpes directos mediante mástiles separados o sobre el objetivo si la temperatura de destello sobrepasa la temperatura de trabajo en menos de 10°C.

La zona de protección de estos pararrayos estará limitada por un paralelepípedo que sobrepasará en 5 m por cada uno de sus lados a la instalación protegida, con toda esta distancia a partir de las paredes de ésta y su altura será igual a la de la instalación más 3 m.

5.2.3.7 Las instalaciones exteriores, ya sean recipientes con productos Pex-1c o tanques soterrados de hormigón armado (recubierto interiormente con láminas metálicas), que tengan tubos de respiraderos o válvulas de presión y vacío, estarán protegidos por una zona de radio igual que 5 m y la altura será igual a la de la válvula más 2,5 m y estarán protegidas de los golpes directos según se establece en los apartados 5.1.3; 5.1.3.1; 5.1.3.3.

5.2.3.8 En las instalaciones exteriores que se relacionan en los apartados 5.2.3.2 al 5.2.3.7, las tomas a tierra del sistema de protección contra los golpes directos tendrán una resistencia de impulso no mayor que 50  $\Omega$  en cada bajante y a ellos se conectarán las terminales aéreas y otras construcciones metálicas de las instalaciones.

La cantidad de bajantes no será menor que dos y se dispondrán cada 50 m del primero de la edificación u objetivo.



- 5.2.3.9 Las instalaciones y aparatos irán unidos a las tomas a tierra de los equipos eléctricos para la protección de la inducción electrostática.
- 5.2.3.10 Los techos flotantes, sin tener en cuenta el tipo de material de éstos y de los recipientes, se protegerán de la inducción electrostática mediante la conexión de los mismos a los conductores de bajada o a las estructuras metálicas de los recipientes en no menos de dos puntos.
- 5.2.3.11 Los puntos donde las tuberías y otras instalaciones metálicas se acerquen a una distancia menor o igual que 0,10 m se protegerán de la inducción electromagnética uniéndose las mismas por medio de puntos metálicos soldados colocados a una distancia de 25 a 30 m.
- 5.2.3.12 Las canalizaciones metálicas soterradas estarán ancladas a cualquier toma en los puntos de entrada de los objetivos para evitar la acumulación de altos potenciales.
- 5.2.3.13 Las canalizaciones y estructuras metálicas aéreas exteriores se conectarán a tomas a tierra con resistencia de impulso igual o menor que  $10 \Omega$  para protegerlas de las acumulaciones de altos potenciales.

### 5.3 Categoría III

- 5.3.1 Los objetivos e instalaciones que requieran sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas con categoría III y la probabilidad de golpes directos ( $N$  sea  $\leq$  que 0,05 calculado según la nota 2 de la tabla 1) será suficiente protegerlos contra la acumulación de altos potenciales teniendo en cuenta lo establecido en el apartado 4.4.
- 5.3.2 Los objetivos que requieran sistemas de categoría III se protegerán contra los golpes directos de descargas eléctricas atmosféricas por una de las formas que se establecen en los apartados 5.1.1 y 5.2.1.2 cumpliendo las exigencias del apartado 5.2.3 pero con las diferencias siguientes:
- Las celdas de las mallas metálicas tendrán una superficie no mayor que  $150 \text{ m}^2$
  - La magnitud de la resistencia de impulso de cada toma a tierra contra los golpes directos no sobrepasarán los  $20 \Omega$  y en suelos con resistividad igual o mayor que  $500 \Omega \cdot \text{m}$  no se permite mayor que  $40 \Omega$

- En suelos con resistividad menor o igual que 500  $\Omega \cdot m$  se permite utilizar en calidad de tomas a tierra los cimientos de hormigón armado de los objetivos.

5.3.2.1 En todos los casos se podrá utilizar en calidad de bajante todas las estructuras metálicas.

La cantidad de bajante no será menor que dos y se dispondrán cada 50 m del primero en la edificación u objetivo.

5.3.3 Las instalaciones metálicas exteriores o recipientes aislados que contengan líquidos combustibles con temperatura de destello de los vapores superiores a los 61°C se protegerán de golpes directos, según lo establecido en el apartado 5.2.3.1 según el caso.

Las instalaciones con estructuras de hormigón armado estarán protegidas de los golpes directos por medio de mástiles separados o sobre el objetivo.

Las tomas a tierra de estas instalaciones cumplirán con lo establecido en el apartado 5.2.3.8.

5.3.4 Las chimeneas no metálicas de industrias, calderas y otros similares se protegerán de los golpes directos, instalándose sobre éstos pararrayos.

5.3.4.1 En las chimeneas no metálicas con altura hasta 50 m es suficiente un solo terminal aéreo de 1 m como mínimo de altura y conectado a un solo conductor de bajada.

5.3.4.2 Las chimeneas no metálicas con altura mayor que 50 hasta 150 m llevarán instalado como mínimo dos terminales aéreas colocados simétricamente con altura mínima de 1 m y unidos entre sí.

5.3.4.3 En las chimeneas con altura superior a 150 m, en calidad de terminal aérea se permite utilizar un anillo de acero, situado en la parte superior de las chimeneas. El anillo se hará con un perfil de acero de 100 mm<sup>2</sup> como mínimo.

5.3.4.4 En las chimeneas con altura superior a los 50 m se instalarán como mínimo dos conductores de bajada.

En las chimeneas de hormigón armado, en calidad de conductor de bajada se podrá utilizar su propio acero de refuerzo.

- 5.3.5 Las chimeneas metálicas no exigen la utilización de terminales aéreas y conductores de bajada. En la parte superior de la chimenea se colocarán dos puentes de conexión diametralmente opuestos, se colocará cada puente a las tomas a tierra.
- 5.3.6 La magnitud de resistencia de impulso de las tomas a tierra de las chimeneas metálicas y no metálicas tendrán como máximo  $50 \Omega$ .

En calidad de tomas a tierra, en los suelos con resistividad menor o igual que  $500 \Omega \cdot m$ , se recomienda utilizar los cimientos de hormigón armado.

- 5.3.7 Las estructuras y canalizaciones metálicas aéreas exteriores se anclarán a tierra en la entrada de éstos con la condición de que las tomas a tierra tengan como máximo una resistencia de impulso de  $20 \Omega$ .

#### COMPLEMENTO

##### Normas estatales de referencia:

- NC 96-02-03:87 SNPCI. Locales o áreas con peligro de explosión o incendios. Clasificación
- NC 96-02-01:87 SNPCI. Resistencia al fuego de las construcciones
- NC 96-02-02:87 SNPCI. Requisitos generales
- NC 96-38:83 SNPCI. Tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados. Conexiones e instalaciones

##### Normas extranjeras consultadas:

- SN-305 Instalación para la proyección de zonas de protección en los objetivos. Moscú 1978
- Normas Neozelandeza de Protección Contra Incendios. 1972.
- Normas Colombianas. ICONTEC 1231. Pararrayos. Definiciones.

## ANEXO A

El presente anexo establece los gráficos y las distancias mínimas admisibles hasta los objetivos a proteger de los tipos más comunes de pararrayos de mástiles y cables aéreos.

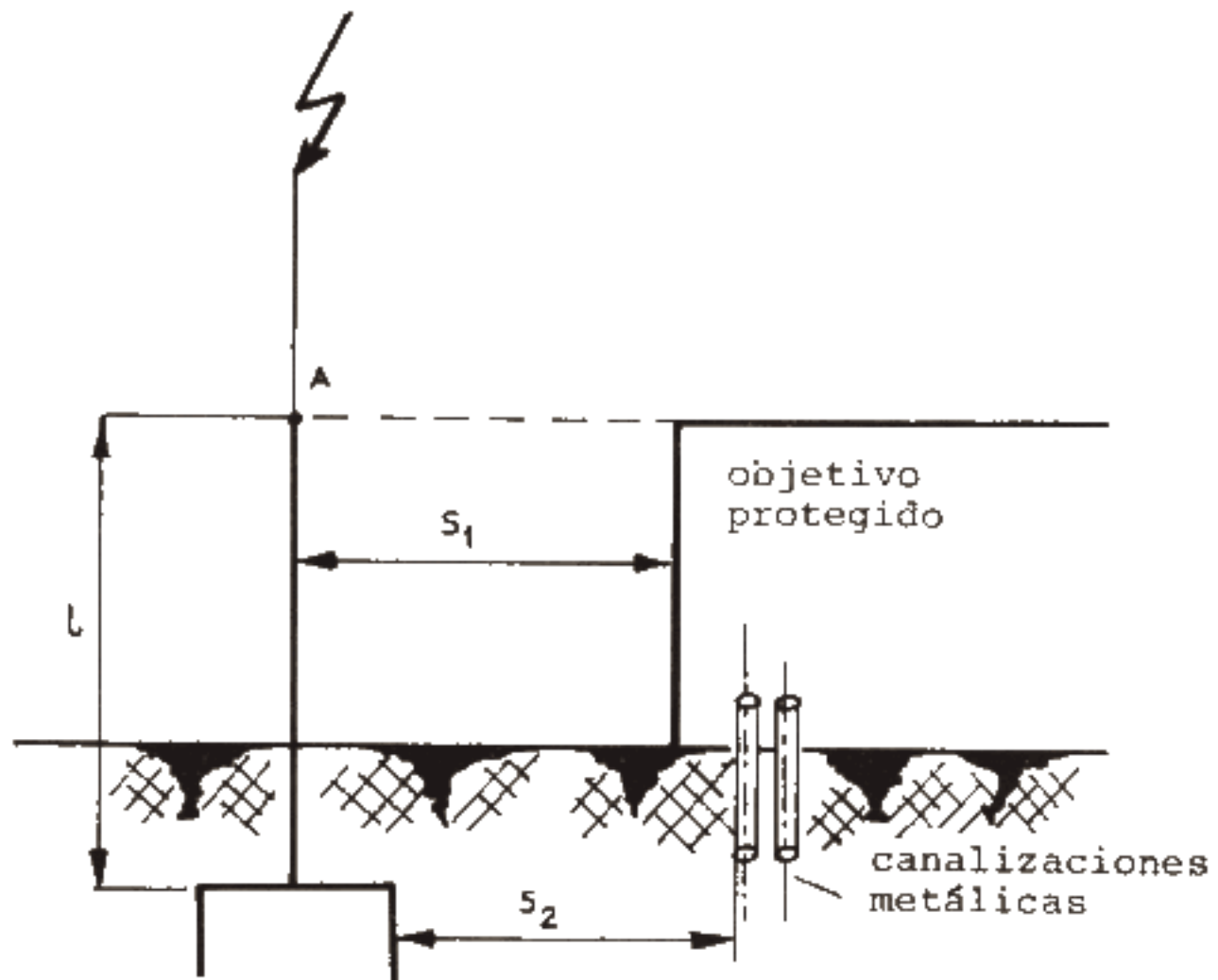


Fig. 1 PROTECCION POR MASTIL  
SEPARADO DEL OBJETIVO.

$S_1$  - distancia de separación del mástil o apoyo del receptor al objetivo a proteger (m)

$S_2$  - distancia entre los electrodos de puerta a tierra del sistema de pararrayos y las canalizaciones metálicas. Se calcula según el apartado 4.12.2. (m)

$L$  - altura medida desde la parte superior de los electrodos de tomas de tierra hasta la parte superior del objetivo a proteger (punto A) (m).

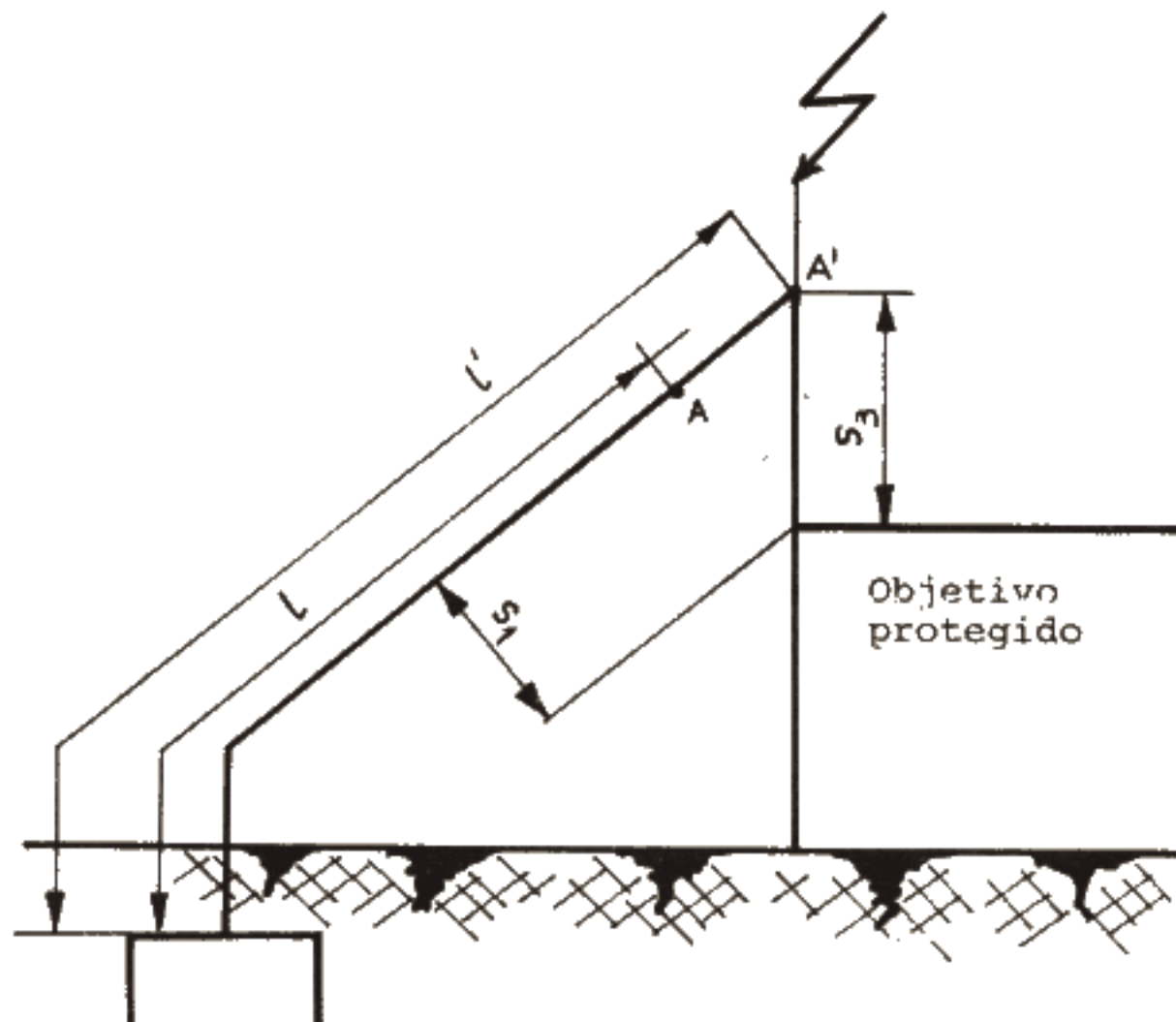


Fig. 2 Protección por mástil sobre el objetivo.

- $S_1$  - distancia de separación entre el bajante y una línea imaginaria paralela a este trazado desde el extremo superior del objetivo a proteger (m)
- $S_3$  - altura de la estructura que soporta el terminal aéreo del sistema de pararrayos (m)
- $L$  - distancia desde A hasta la profundidad de enterramiento de los electrodos, medida a lo largo del bajante del sistema de pararrayos
- $L_1$  - distancia total medida desde la parte superior de los electrodos hasta el extremo superior de la estructura soporte (longitud  $S_3$ ) sobre el cual se coloca el terminal aéreo. Esta distancia se mide siguiendo la trayectoria del bajante.
- Punto A. altura del objetivo a proteger desde el nivel del terreno
- A - punto donde la distancia del objetivo a proteger hasta el bajante es igual a  $S_1$ .
- A' - Parte superior del soporte del terminal aéreo.

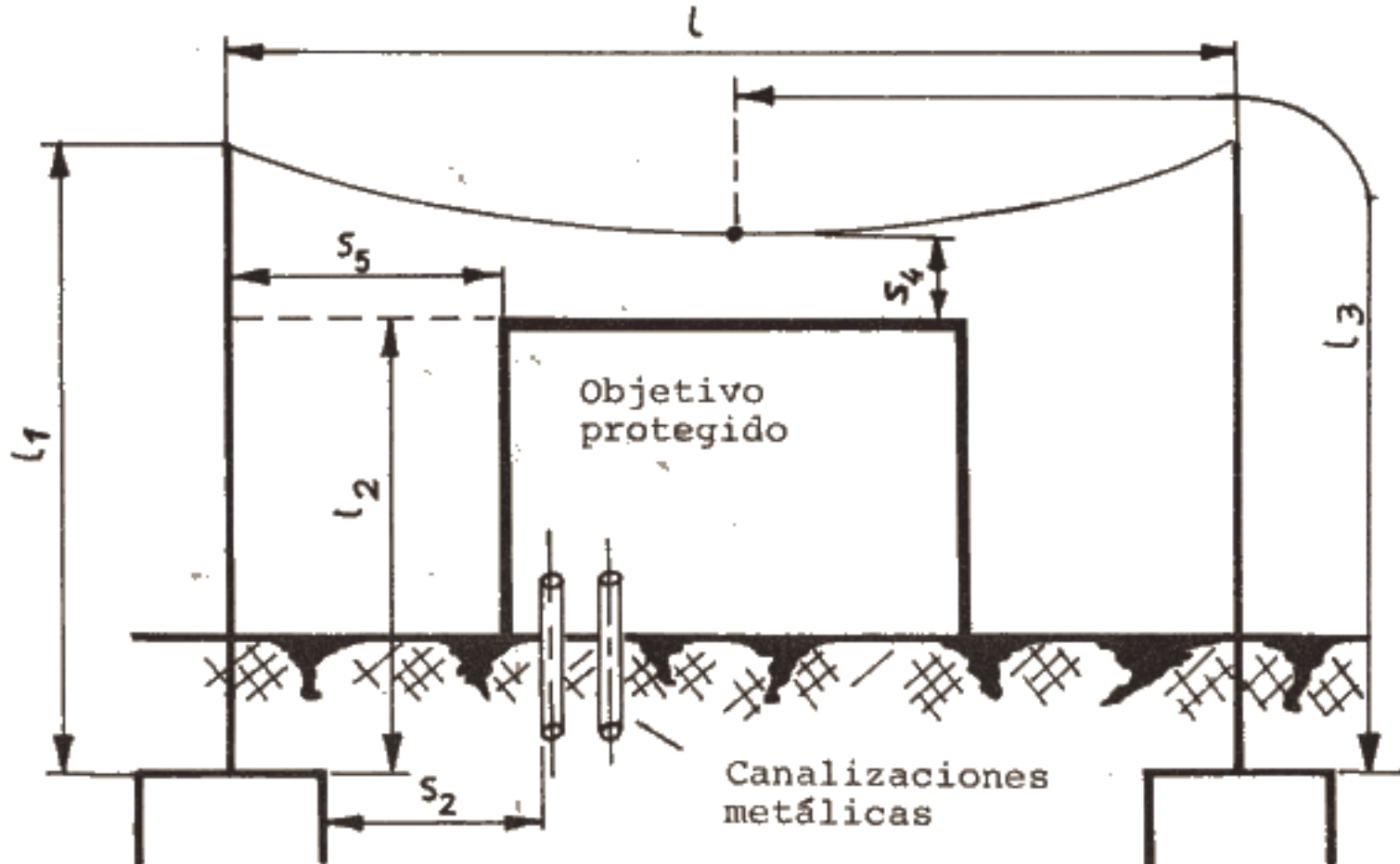


Fig. 3 Protección por cables aéreos (protector) entre mástiles.

- $S_2$  distancia entre los electrodos de puesta a tierra del sistema de pararrayos y las canalizaciones metálicas. Se calcula según el apartado 4.12.2 (m).
- $S_4$  distancia de separación entre la cubierta del objetivo a proteger y la parte más baja de la catenaria.
- $S_5$  distancia de separación entre el mástil y el objetivo a proteger.
- $S_6$  separación entre los mástiles que soportan el cable de protección (m)
- $L_1$  altura total medida desde el extremo superior de los electrodos y la parte superior del mástil.
- $L_2$  altura medida desde la parte superior de los electrodos hasta el extremo superior del objetivo a proteger (m)
- $L_3$  distancia desde la parte superior de los electrodos hasta el centro de la catenaria.

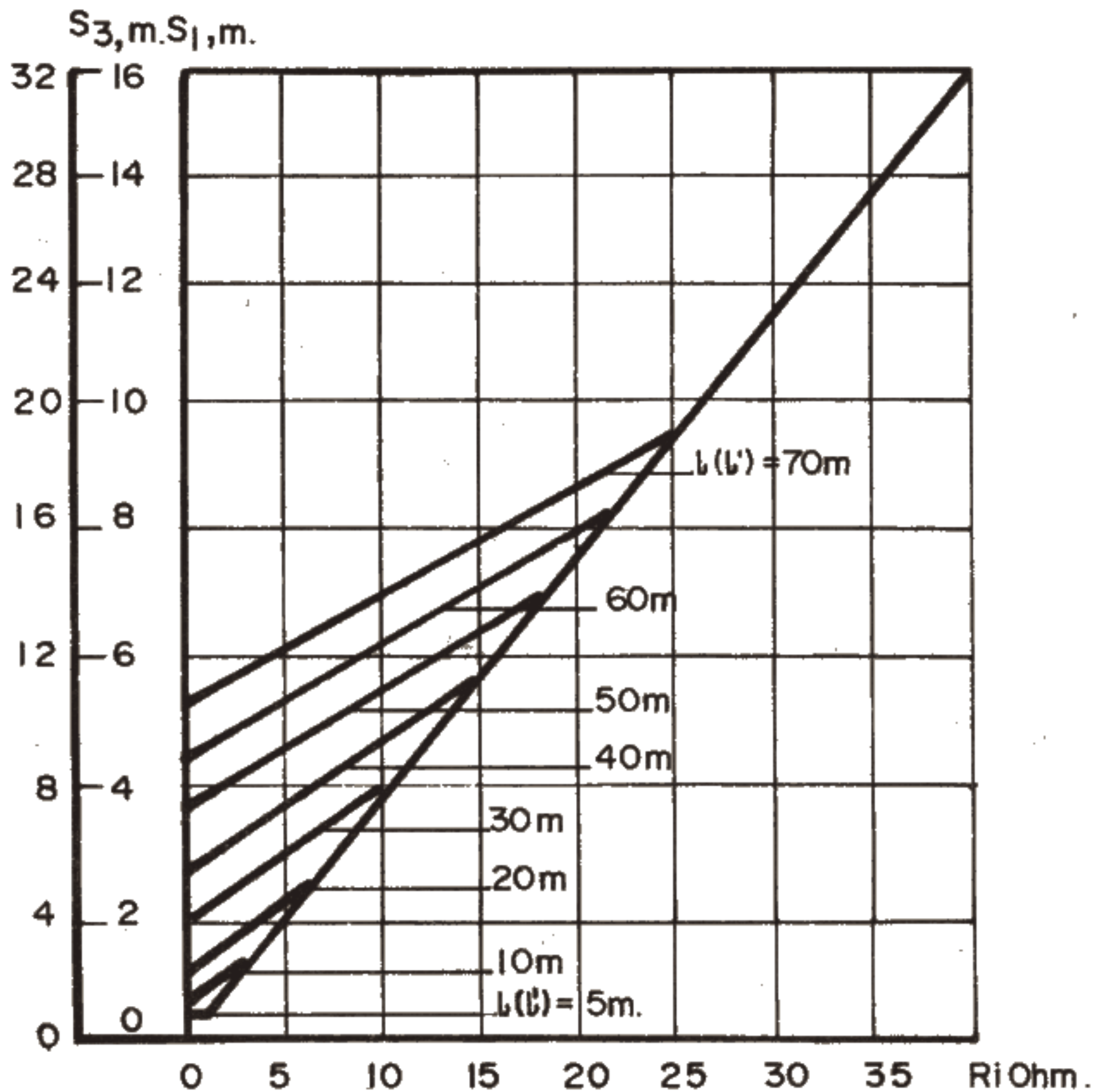


Fig. 4 DISTANCIA MINIMA DESDE LOS PARARRAYOS DE MASTILES HASTA EL OBJETIVO A DEFENDER ( $S_1$ ) Y LA ALTURA DEL SOPORTE ( $S_3$ )

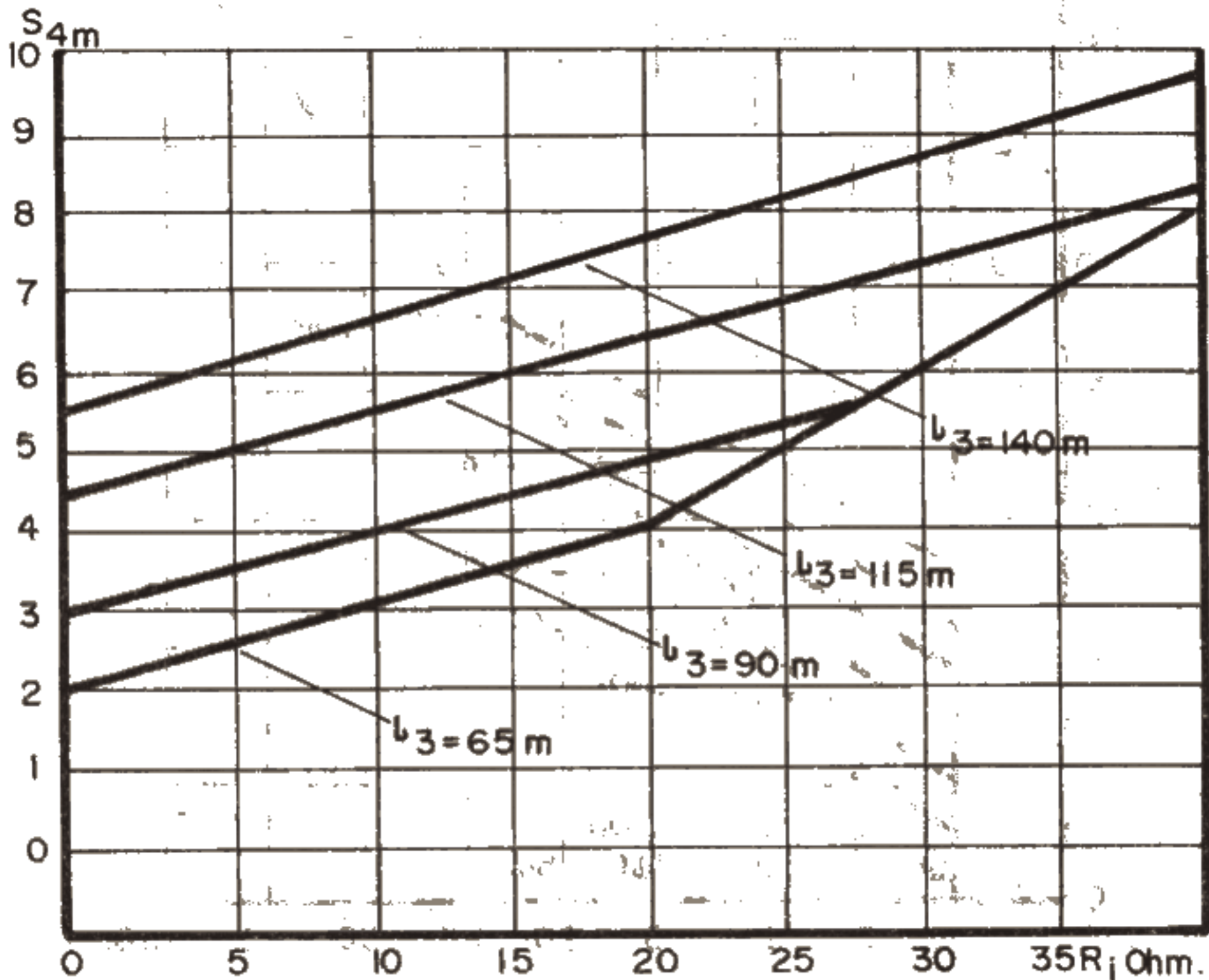


Fig. 5 DISTANCIA MINIMA DESDE LAS PARTES INTERMEDIAS DE LOS CABLES AEREOS HORIZONTALES HASTA EL OBJETIVO A PROTEGER.



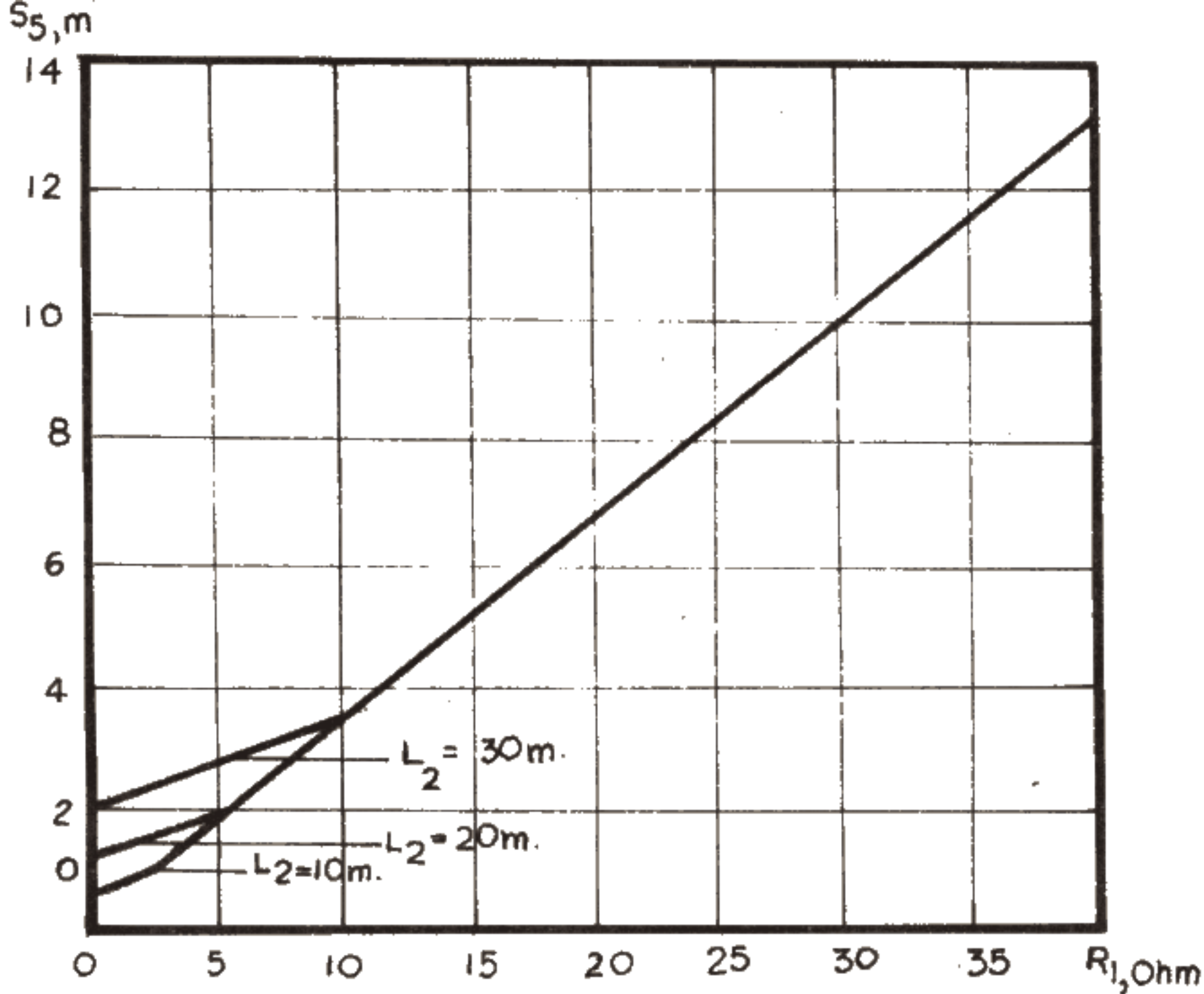


Fig. 6 DISTANCIA MINIMA DESDE LOS MASTILES HASTA EL OBJETIVO A PROTEGER SI  $L = (50 \text{ a } 200) \text{ m}$  Y  $L_1 = 40 \text{ m}$

El presente anexo establece los cálculos para la instalación de los diferentes sistemas de protección por mástiles o cables aéreos contra las descargas eléctricas atmosféricas, permitiendo ésto garantizar la seguridad de los objetivos con peligrosidad desde el punto de vista de incendios o explosiones. Se permiten utilizar otros tipos de cálculos, siempre y cuando se cumplan las exigencias de la presente norma.

## B.1 Pararrayos de un mástil

B.1.1 La zona de protección de los pararrayos de un mástil de altura  $h \leq 150$  m representa un cono (véase Fig. 7). La punta del cono se encuentra a una altura  $h_0 < h$ . Al nivel del terreno la zona de protección forma un círculo con radio  $r_0$ . La sección horizontal de la zona de protección a la altura del objetivo a defender  $h_x$  representa un círculo con radio  $r_x$ .

Las zonas de protección de estos pararrayos tienen las siguientes dimensiones.

$$\begin{aligned} \text{Zona A.} \quad h_0 &= 0,85 h \\ r_0 &= (1,1 - 0,002 h) h \\ r_x &= (1,1 - 0,002 h) \left( h - \frac{h_x}{0,85} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zona B} \quad h_0 &= 0,92 h \\ r_0 &= 1,5 h \\ r_x &= 1,5 \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right) \end{aligned}$$

dónde:

$h_0$  altura del cono de protección.

$h$  altura del mástil.

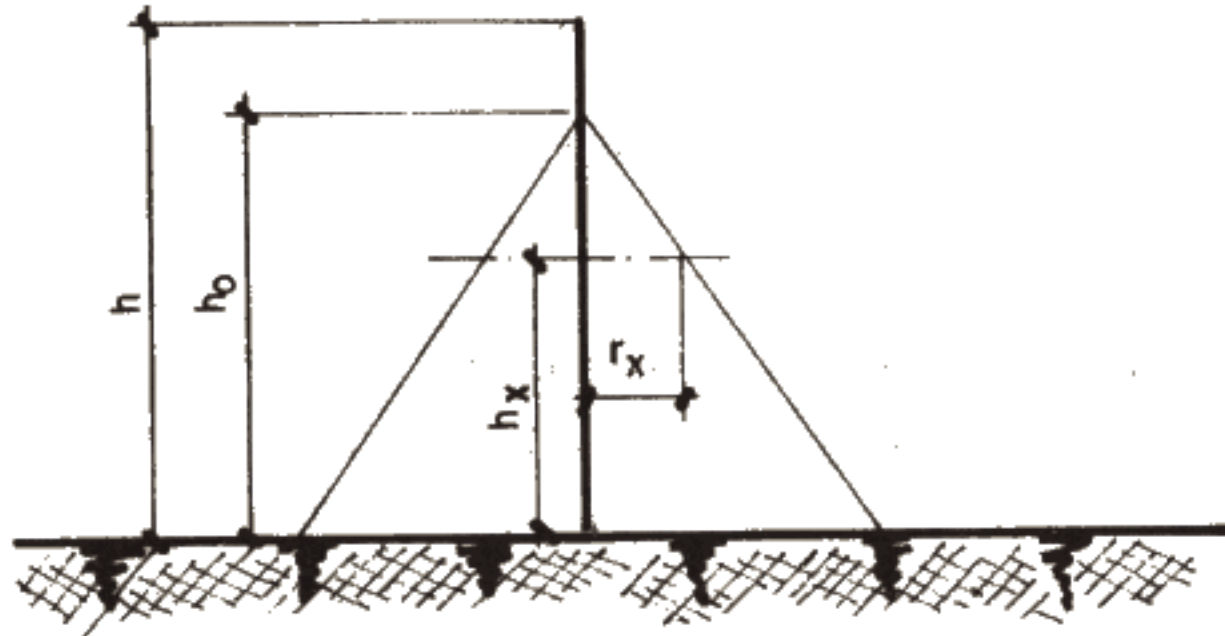
$h_x$  altura del objetivo a proteger.

$r_0$  radio de la zona de protección al nivel del terreno.

$r_x$  radio de la zona de protección a la altura  $h_x$ .

Para la zona B la altura del pararrayo de un mástil, conociendo los valores de  $h_x$  y  $r_x$  se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{r_x + 1,63 h_x}{1,5}$$



LIMITES DE LAS ZONAS DE PROTECCION

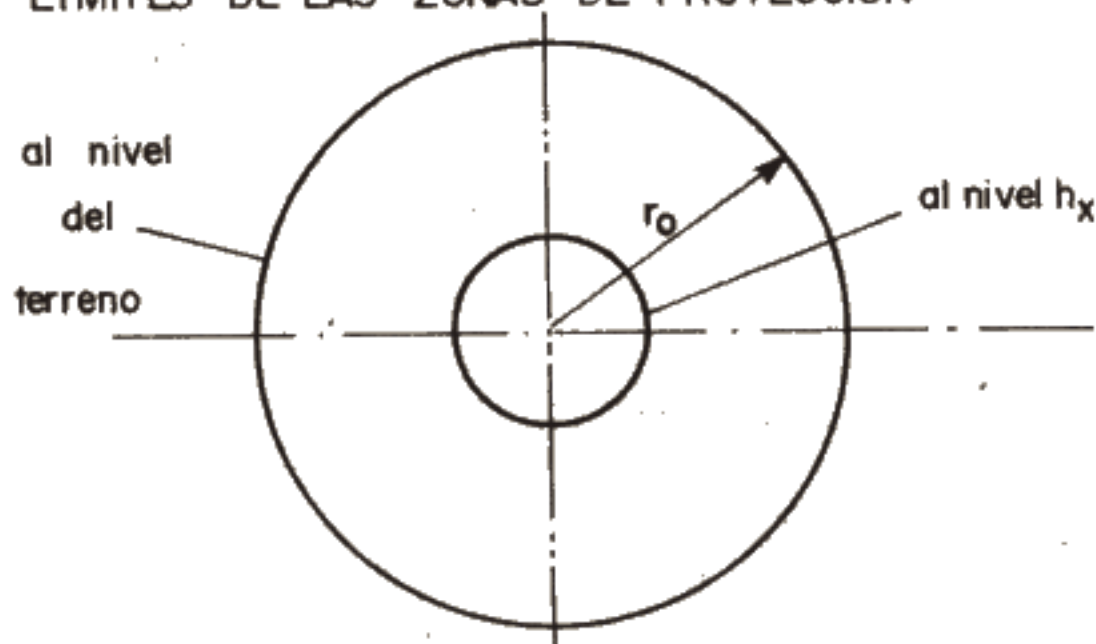


Fig. 7 Zona de protección de pararrayos de un solo mástil con altura hasta 150 m

## B.2 Pararrayos de dos mástiles

B.2.1 La zona de protección de los pararrayos de dos mástiles de altura  $h \leq 150$  m (véase Fig. 8) Los extremos de la zona de protección se determinan como la zona de protección de pararrayos de un mástil. Las dimensiones  $h_0$ ,  $r_0$ ,  $r_{x1}$  y  $r_{x2}$  se determinan por las ecuaciones del apartado B.1.1 del presente anexo, para ambos tipos de zonas.

Las zonas de protección de los pararrayos de dos mástiles tienen las siguientes dimensiones.

Zona A : Cuando  $L \leq h$ :  $h_c = h_0$   
 $r_{cx} = r_x$   
 $r_c = r_0$

Cuando  $L > h$ :  $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h) (L-h)$

$$r_{cx} = \frac{h_c - h_x}{h_c}$$

$$r_c = r_o$$

La zona A existe cuando  $L \leq 3h$

Zona B: Cuando  $L \leq 1,5h : h_c = h_o$

$$r_{cx} = r_x$$

$$r_c = r_o$$

Cuando  $L > 1,5h : h_c = h_o - 0,14(L - 1,5h)$

$$r_{cx} = r_o \frac{h_c - h_x}{h_c}$$

$$r_c = r_o$$

La zona B existe cuando  $L \leq 5h$ .

Cuando  $h_c$  y  $L$  son conocidos (siendo  $r_{cx} = 0$ ), la altura del pararrayo para la zona B, se determina por la siguiente ecuación

$$h = \frac{h + 0,14 L}{1,13}$$

Si los pararrayos se encuentran a una distancia  $L > 5h$ , se consideran como pararrayos individuales.

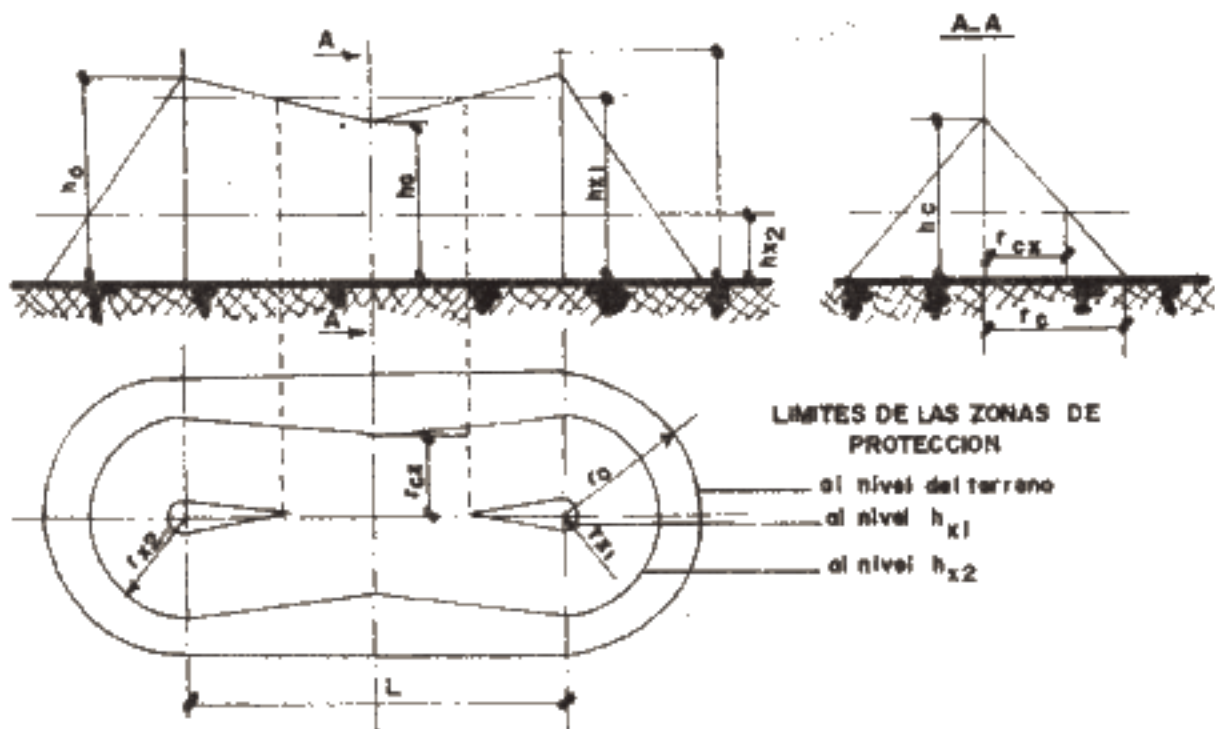


Fig. 8 Zona de protección de pararrayos de dos mástiles con altura hasta 150 m.

B.2.2 La zona de protección de los pararrayos de dos mástiles con alturas diferentes  $h_1$  y  $h_2 \leq 150$  m (véase Fig. 9).

Los extremos de la zona de protección de pararrayos de dos mástiles se determinan como la zona de protección de pararrayos de un mástil, tomando en consideración cada una de las alturas. Las dimensiones  $h_{o1}$ ,  $h_{o2}$ ,  $r_{o1}$ ,  $r_{o2}$ ,  $r_{x1}$  y  $r_{x2}$  se determinan por las ecuaciones del apartado B.1.1 del presente anexo, para ambos tipos de zonas.

Las demás magnitudes se determinan por las siguientes ecuaciones:

$$r_c = \frac{r_{o1} + r_{o2}}{2}$$

$$h_c = \frac{h_{c1} + h_{c2}}{2}$$

$$r_{cx} = r_c \frac{h_c - h_x}{h_c}$$

$h_{c1}$  y  $h_{c2}$  para ambas zonas de protección se calculan mediante las ecuaciones para  $h_c$  del apartado B.2.1

Para los pararrayos de dos mástiles con diferentes alturas, la zona A existe cuando  $L \leq 3h_{\min}$ , y la zona B cuando  $L \leq 5h_{\min}$ .

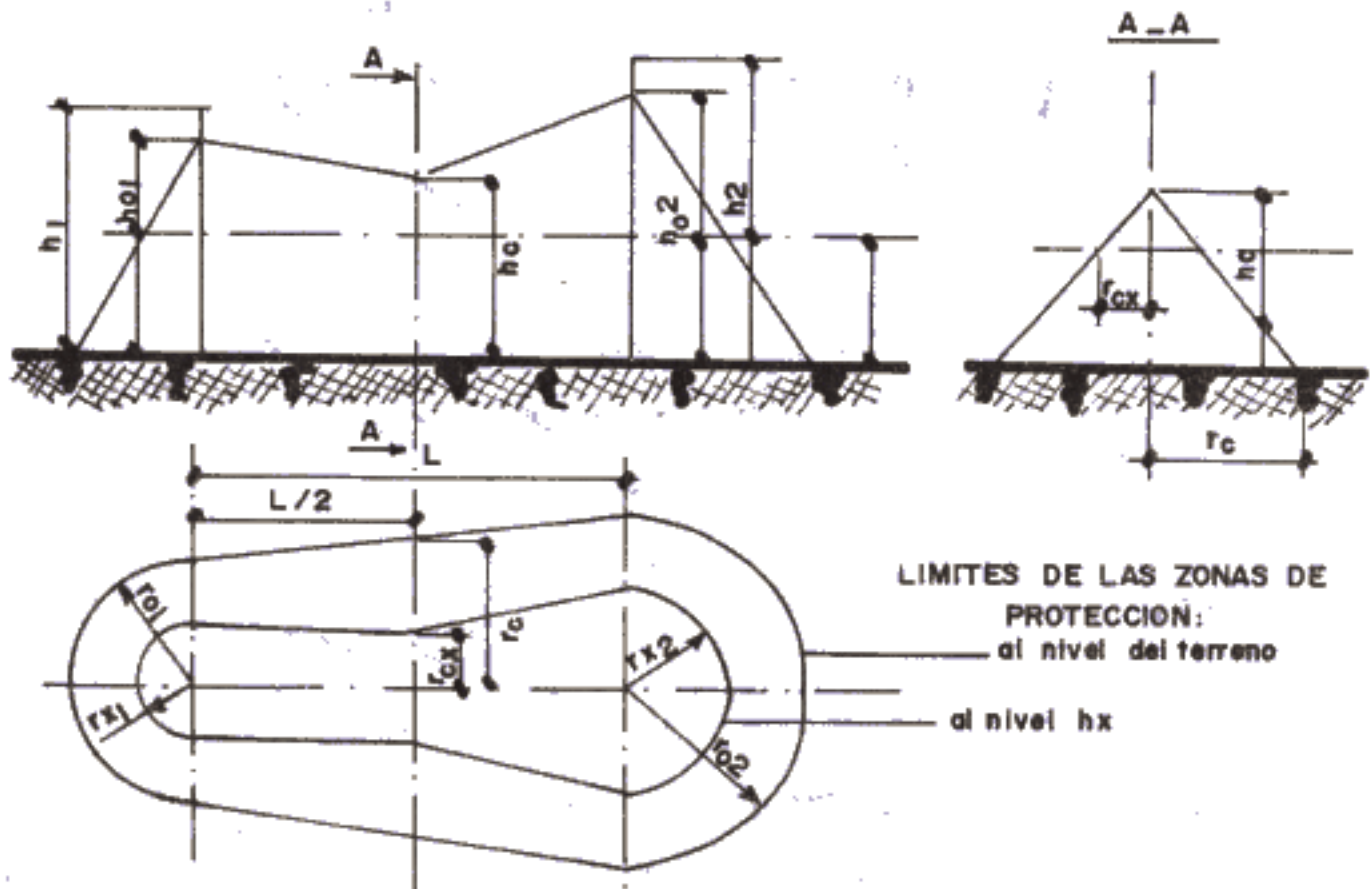


Fig. 9 Zona de protección de pararrayos de dos mástiles con alturas diferentes.



Cuando  $a < 120$  m  $h = h_{ap} - 2$  m

Cuando  $(120 \leq a \leq 150)$  m  $h = h_{ap} - 3$  m

Las zonas de protección de estos pararrayos tienen las siguientes dimensiones:

Zona A:  $h_o = 0,85 h$

$$r_o = (1,35 - 0,0025h) h$$

$$r_x = (1,35 - 0,0025h) \left( h - \frac{h_x}{0,85} \right)$$

Zona B:  $h_o = 0,92 h$

$$r_o = 1,7 h$$

$$r_x = 1,7 \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right)$$

Para la zona de protección tipo B conociendo las magnitudes  $h_x$  y  $r_x$ , se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{r_x + 1,85 h_x}{1,7}$$

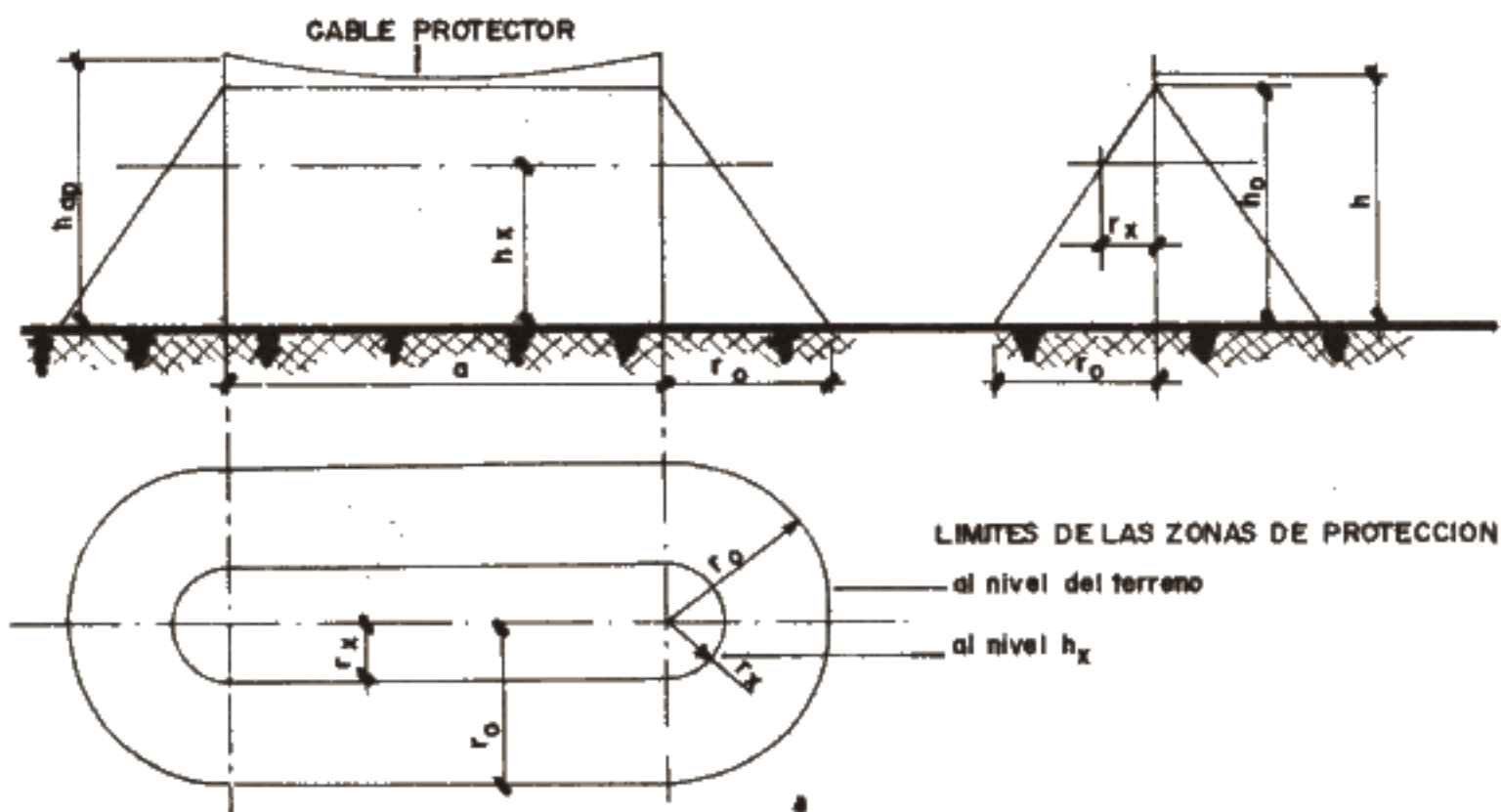


Fig. 11 Zona de protección de pararrayos de un cable aéreo o protector entre mástiles con altura hasta 150 m

## B.5 Pararrayos de dos cables aéreos entre mástiles

B.5.1 La zona de protección de pararrayos de dos cables aéreos de altura  $h \leq 150$  m (véase Fig. 12). Las dimensiones  $r_o$ ,  $h_o$  y  $r_x$  para ambos tipos de zonas de protección se determinan mediante las ecuaciones del apartado B.4.1

Los demás valores de las zonas de protección se determinan por las siguientes ecuaciones:

Zona A: Cuando  $L \leq h$ :

$$h_c = h_o$$

$$r_{cx} = r_x$$

$$r_c = r_o$$

Cuando  $L > h$ :

$$h_c = h_o - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4} h) (L - h)$$

$$r_x^1 = \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{h_o - h_x}{h_o - h_c}\right)$$

$$r_c = r_o$$

$$r_{cx} = r_o \left(\frac{h_c - h_x}{h_c}\right)$$

La zona A existe cuando  $L \leq 3h$

Zona B: Cuando  $L \leq h$ :

$$h_c = h_o$$

$$r_{cx} = r_x$$

$$r_c = r_o$$

Cuando  $L > h$ :

$$h_c = h_o - 0,12 (L - h) \frac{h_o - h_x}{h_o - h_c}$$

$$r_x^1 = \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{h_o - h_x}{h_o - h_c}\right)$$

$$r_c = r_o$$

$$r_{cx} = r_o \left(\frac{h_c - h_x}{h_c}\right)$$

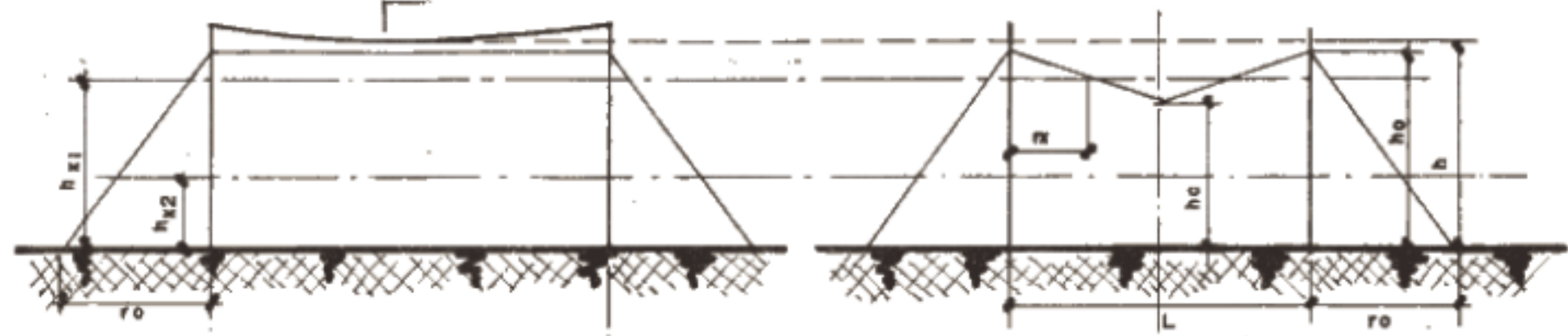
La zona B existe cuando  $L \leq 5h$

Cuando  $h_c$  y  $L$  son conocidos (siendo  $r_{cx} = 0$ ) la altura del pararrayo para la zona B, se determina por la siguiente ecuación:

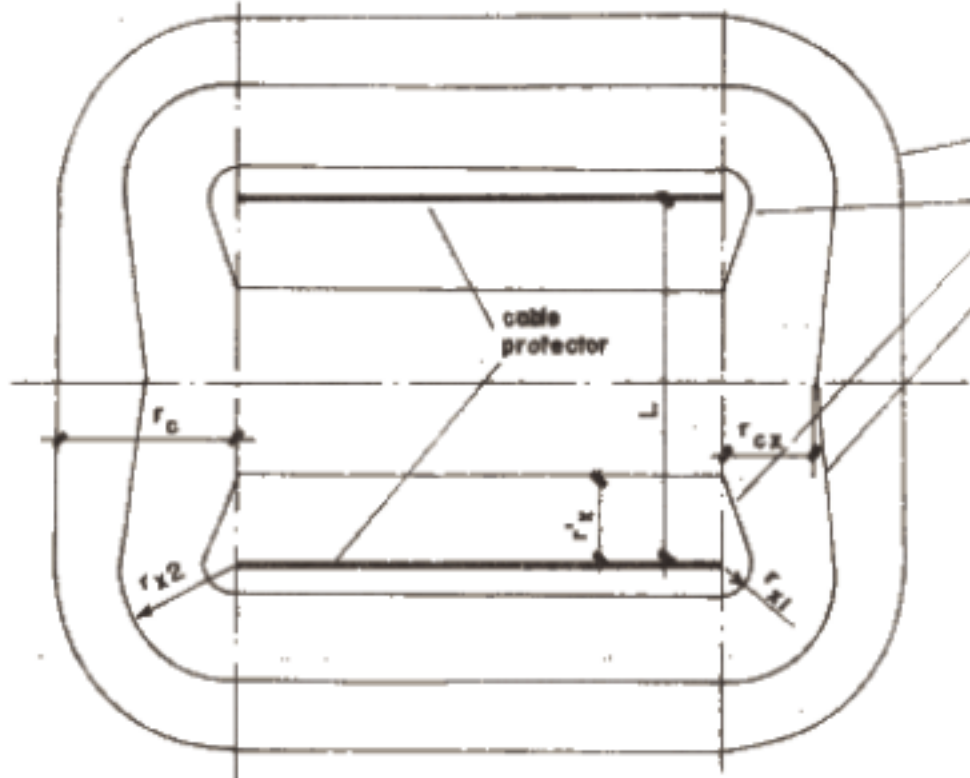
$$h = \frac{h_c + 0,12 L}{1,07}$$



CABLE PROTECTOR

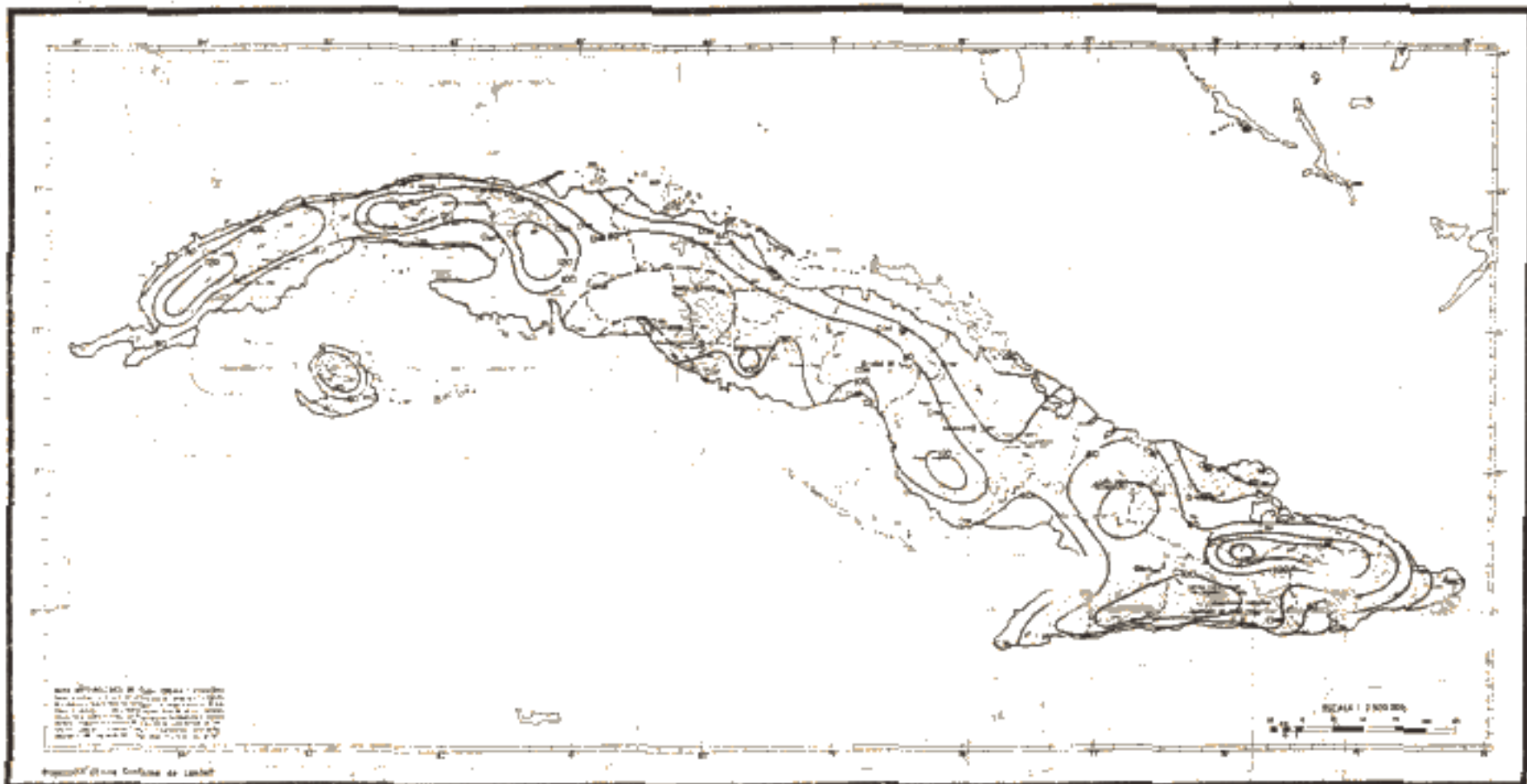


LIMITE DE LAS ZONAS DE PROTECCION



- AL NIVEL DEL TERRENO
- AL NIVEL  $h_{x1}$
- AL NIVEL  $h_{x2}$

Fig. 12 Zona de protección de pararrayos de dos cables aéreos o protector entre mástiles hasta 150 m.

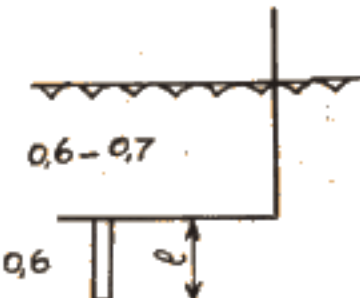

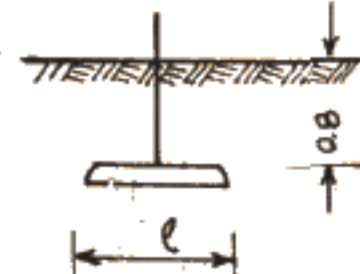



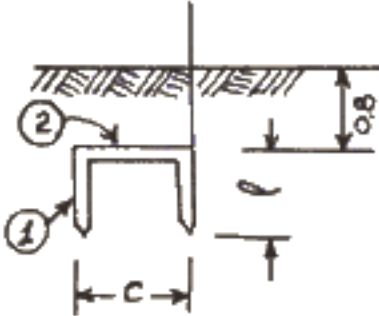
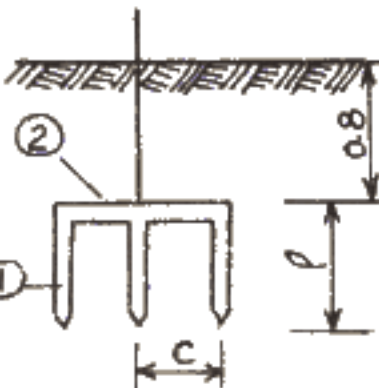
Este documento es propiedad exclusiva del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. No se permite su reproducción total o parcial, ni su uso para fines comerciales, sin el consentimiento escrito de la institución. Toda infracción será perseguida legalmente.

Proyecto de una cartografía de Cuba

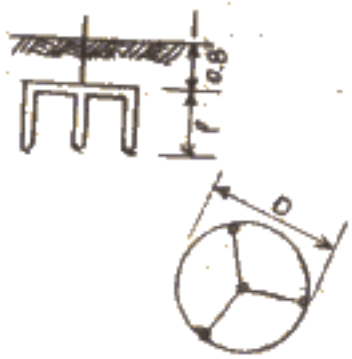
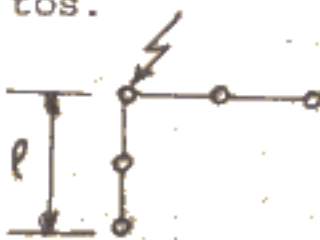

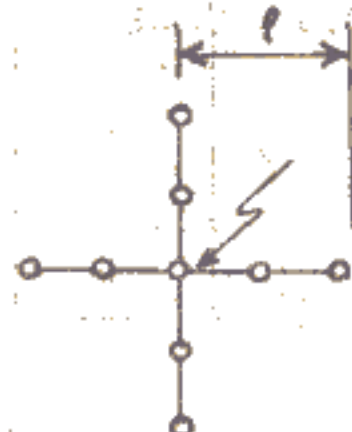
## ANEXO D

Valores de la resistencia a tierra (R)  
para distintos tipos de tomas a tierra

1	Tipo de toma de tierra	Material	Valores en ohmios de la resistencia a la propagación de la corriente de frecuencia industrial para diferentes resistividades del suelo.				
			0,5X10 <sup>4</sup> ohm.cm	10 <sup>4</sup> ohm.cm	5X10 <sup>4</sup> ohm.cm	5 10 <sup>5</sup> ohm.cm	
2	3	4	5	6	7		
1	Barra vertical 	Angular de 40.4 mm					
		L=2 m	19	38	190	380	
		L=3 m	14	28	140	280	
		Acero redondo					
		d=10:20 mm					
		L=2 m	24	48	240	480	
L=3 m	17	34	170	340			
L=5 m	14	28	140	280			
2	Planchuela horizontal. 	Planchuela de 40.4 mm					
		L=3m	22	44	220	440	
		L=5m	12	24	120	240	
		L=10m	7	14	70	140	
3	Planchuela Horizontal con entrada de la corriente en el medio. 	Planchuelas de 40.4 mm					
		L=5 m	9,5	19	95	190	
		L=10 m	5,85	12	60	120	
		L=12 m	5,4	11	54	110	
		L=24 m	3,1	6,2	31	62	
		L=32 m	No se Aplica	No se Aplica	24	48	
L=40 m			20	40			
4	Planchuela horizontal "Y" 	Planchuela de 40.4 mm					
		L=6 m	4,6	9	45	90	
		L=12 m	2,6	5,2	26	50	

1	2	3	4	5	6	7
		L=16 m L=20 m	2 1,7	4 3,4	20 17	40 34
5	<p>Combinación de dos barras</p>  <p>1 Angular de Acero redondo</p> <p>2 Planchuela</p>	<p>Angular de 40.40.4 mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=3: L=2,5 m</p> <p>C=3: L=3 m</p> <p>C=6: L=2,5 m</p> <p>C=6: L=3 m</p> <p>Acero redondo <math>d=10 \div 20</math> m</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=3: L=2,5 mm</p> <p>C=3: L=3 mm</p> <p>C=5: L=2,5 mm</p> <p>C=5: L=3 m</p> <p>C=3: L=5 m</p> <p>C=5: L=5 m</p>	<p>7</p> <p>6</p> <p>5,5</p> <p>4,5</p> <p>7,5</p> <p>6,8</p> <p>6</p> <p>5,5</p> <p>5,5</p> <p>4</p>	<p>14</p> <p>12</p> <p>11</p> <p>9,1</p> <p>15</p> <p>14</p> <p>12</p> <p>11</p> <p>11</p> <p>8</p>	<p>70</p> <p>60</p> <p>55</p> <p>45</p> <p>75</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>55</p> <p>55</p> <p>40</p>	<p>140</p> <p>120</p> <p>110</p> <p>90</p> <p>150</p> <p>140</p> <p>120</p> <p>110</p> <p>110</p> <p>80</p>
	<p>Combinación de tres barras</p>  <p>1 Angular o acero redondo</p> <p>2 Planchuela</p>	<p>Angular 40.4 mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=3: L=2,5 mm</p> <p>C=6: L=2,5 m</p> <p>C=7: L=3 m</p> <p>Acero redondo <math>d=10 - 20</math> mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=2,5 - L=2,5 m</p> <p>C=2,5 - L=3 m</p> <p>C=5: L=2,5 m</p> <p>C=5: L=3 m</p> <p>C=6: L=5 m</p>	<p>4</p> <p>3</p> <p>2,7</p> <p>4,8</p> <p>4,4</p> <p>3,5</p> <p>3,3</p> <p>2,7</p>	<p>8</p> <p>6</p> <p>5,4</p> <p>9,7</p> <p>8,9</p> <p>7,1</p> <p>6,6</p> <p>5,4</p>	<p>40</p> <p>30</p> <p>28</p> <p>50</p> <p>45</p> <p>36</p> <p>33</p> <p>27</p>	<p>80</p> <p>60</p> <p>55</p> <p>100</p> <p>90</p> <p>70</p> <p>65</p> <p>55</p>

1	2	3	4	5	6	7
7	<p>Combinación de cinco barras</p>	<p>Angular 40.40.4 mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=5m; L=2 m</p> <p>C=5m; L=3 m</p> <p>C=7,5; L=2 m</p> <p>C=7,5; L=3 m</p> <p>Acero redondo d=10 - 20 mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>C=5m; L=2 m</p> <p>C=5m; L=3 m</p> <p>C=7,5; L=2 m</p> <p>C=7,5; L=3 m</p> <p>C=5; L=5 m</p> <p>C=7,5; L=5 m</p>	<p>2,2</p> <p>1,9</p> <p>1,8</p> <p>1,6</p> <p>2,4</p> <p>2,0</p> <p>2</p> <p>1,7</p> <p>1,9</p> <p>1,6</p>	<p>4,4</p> <p>3,8</p> <p>3,7</p> <p>3,2</p> <p>4,8</p> <p>4,1</p> <p>4</p> <p>3,5</p> <p>3,8</p> <p>3,2</p>	<p>22</p> <p>19</p> <p>18,5</p> <p>16</p> <p>24</p> <p>20,5</p> <p>20</p> <p>17,5</p> <p>19</p> <p>16</p>	<p>44</p> <p>38</p> <p>37</p> <p>32</p> <p>48</p> <p>41</p> <p>40</p> <p>35</p> <p>38</p> <p>32</p>
8	<p>Combinación de cuatro barras en "Y"</p>	<p>Angular 40.40.4 mm</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>6=6; L=3 m</p>	<p>2,1</p>	<p>4,3</p>	<p>21,5</p>	<p>43</p>
9	<p>De anillo horizontal, con entrada de la corriente en el centro</p>	<p>Planchuela 40.4 mm</p> <p>D = 4m</p> <p>D = 6m</p> <p>D = 8m</p> <p>D = 10 m</p> <p>D = 12m</p>	<p>4,5</p> <p>3,3</p> <p>2,65</p> <p>2,2</p> <p>1,9</p>	<p>9</p> <p>6</p> <p>5,3</p> <p>4,4</p> <p>3,8</p>	<p>45</p> <p>33</p> <p>26,5</p> <p>22</p> <p>19</p>	<p>90</p> <p>66</p> <p>53</p> <p>44</p> <p>38</p>

1	2	3	4	5	6	7
10	<p>De anillo, con 4 tubos y 3 rayos</p> 	<p>Angular 40.40.4 mm</p> <p>Planchuela 40.4 m</p> <p><math>D = 8m:L=3m</math></p>	2	4	20	40
11	<p>Combinación de 20 electrodos tipo piloto dispuestos en cinco puntos.</p> 	<p>Piloto de hormigón armado de 6m de largo y 0,3m de diámetro</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p><math>L = 24 m</math></p>	0,5	1	5	No se Aplica
	<p>Combinación de 7 puntos con 28 electrodos-piloto</p> 	<p>Piloto de hormigón armado de 6m de largo y 0,3m de diámetro</p> <p>Planchuela 40.4 mm</p> <p><math>l = 24 m</math></p>	0,38	0,76	3,8	No se Aplica
	<p>Combinación de 9 puntos con 36 electrodos piloto</p> 	<p>Piloto de hormigón armado de 6m de largo y 0,3 m de diámetro</p> <p>Planchuela 40.4 m</p> <p><math>l = 24 m.</math></p>	0,34	0,67	3,4	No se Aplica