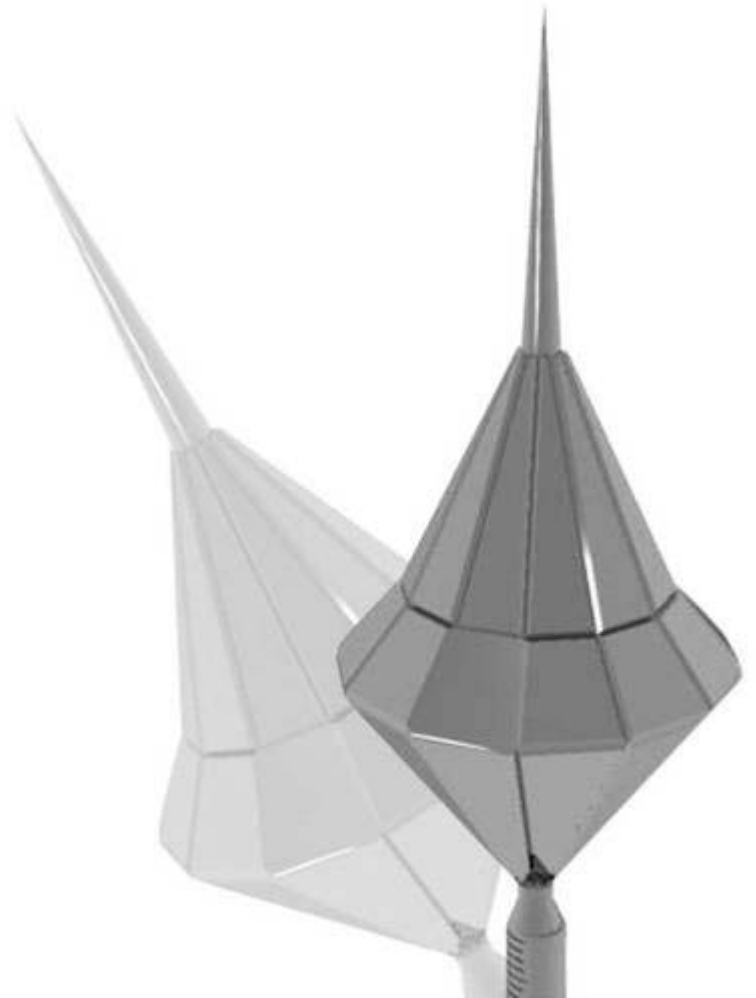




**Pararrayos de Cebado
Total Ground TGPE con
Dispositivo Piezoeléctrico**





Pararrayos de Cebado Total Ground TGPE con Dispositivo Piezoeléctrico

Modelos:

- TGPE6
- TGPE9
- TGPE12
- TGPE15

Concepto del funcionamiento:

El principio de funcionamiento de un pararrayos de cebado con dispositivo piezoeléctrico está basado en la emisión de aire desde la punta con iones libres para generar que el efecto corona sea más prominente en la punta, el sistema piezoeléctrico es el encargado de generar la diferencia de potencial necesaria para la ionización del aire que pasa a través de la punta captadora. Este sistema piezoeléctrico es favorecido por las condiciones atmosféricas que existen cuando una tormenta eléctrica se presenta.

Componentes:

→ • Punta captadora de rayo:

La punta captadora de rayo es la encargada de recibir el impacto y de conducirlo a través del cable de bajada hasta el sistema de tierra física para su disipación en tierra. La punta está diseñada para hacer fluir aire a través de ella gracias al efecto venturi. La punta también está diseñada para albergar en su interior una parte del sistema piezoeléctrico el cual va a ser el encargado de ionizar el aire que pasa a través de la punta.

→ • Mástil de Soporte:

El mástil de soporte tiene como propósito elevar la punta para genera un brazo de palanca más largo con el objetivo de poder estimular el sistema piezoeléctrico ubicado en la parte inferior de este mismo. El mástil a su vez proporciona un camino aislado para el cable que llevara un potencial a la parte del sistema piezoeléctrico albergado en la punta, y a través de la continuidad del mástil y la punta captadora brindar el potencial de signo inverso para generar así la ionización.

→ • Sistema Piezoeléctrico

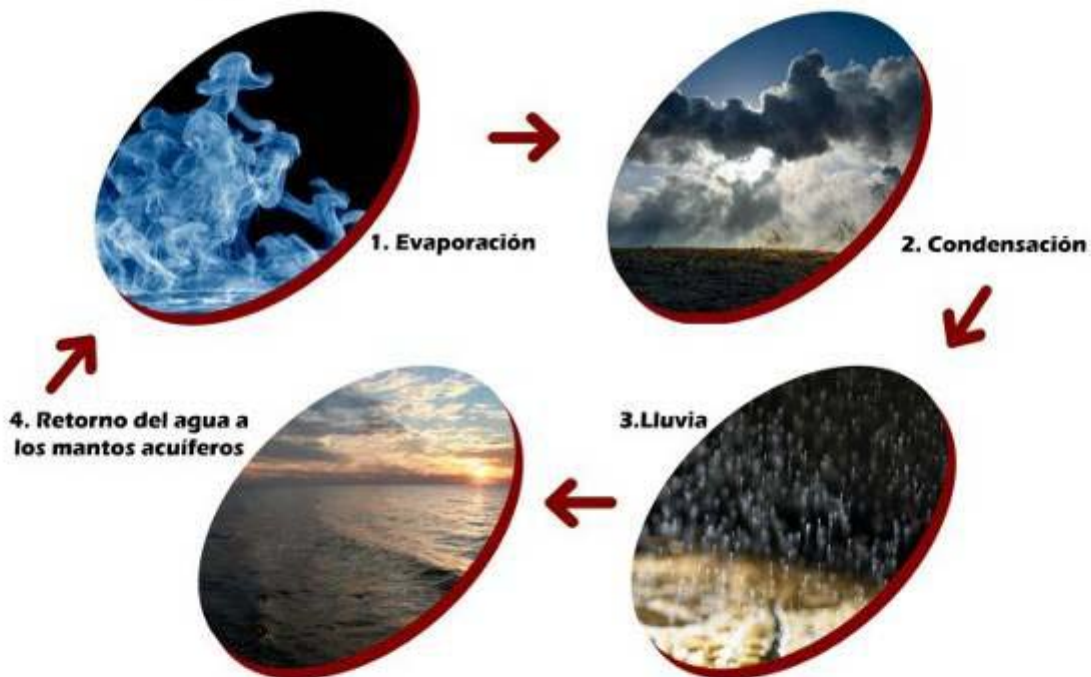
El sistema piezoeléctrico está conformado por dos partes, una ubicada en la parte inferior del mástil de soporte el cual se compone de dos cristales piezoeléctricos, o transductores, estos son cristales que al presentar un desacomodo en el centro de gravedad de sus cristales, gracias a un cambio brusco la presión, generan una diferencia de potencial. La segunda parte se encuentra albergada en la punta captadora, la cual se compone de un ánodo y un cátodo, los cuales al ser sometidos a la diferencia de potencial generada por los cristales piezoeléctricos ionizan el aire.



Principios de Funcionamiento

Para poder comprender mejor los sistemas de pararrayos, es necesario que se entienda como es que funciona el fenómeno para el cual fueron creados. No está bien claro el cómo es que la nube adquiere la carga eléctrica en primer lugar, pero existen algunas teorías. La teoría que parece tener mayor factibilidad es la del ciclo del agua.

■ Ciclo del Agua



El ciclo del agua es muy sencillo de comprender: primero, el sol emite energía que se transmite en forma de luz a través del espacio. Cuando la luz llega a nuestra atmósfera, los fotones golpean las partículas de aire, polvo, agua, etc. calentándolos. Cuando los fotones han transmitido suficiente energía al agua de los océanos, las moléculas del agua se expanden y esta cambia de estado líquido a gaseoso.

El vapor de agua se eleva ya que su densidad es menor que la del aire más frío que se encuentra a su alrededor. Al elevarse, el aire que rodea al vapor de agua se va enfriando y hace que este vapor cambie nuevamente de estado. Parte del vapor se convierte en hielo y otra parte se convierte en agua, sin embargo, estas partículas se encuentran tan dispersas que permanecen en el aire ya que su peso no es muy grande.



Cuando se acumula suficiente vapor, agua y hielo, esta combinación forma nubes de tormenta. Si la densidad de partículas de agua es lo suficientemente grande estas empiezan a chocar entre sí y se empiezan a fusionar formando gotas de agua que empiezan a ser muy pesadas para seguir flotando en el aire. Al llegar estas gotas de agua a ser lo suficientemente grandes, se precipitan hacia la tierra formando lo que comúnmente llamamos lluvia. La lluvia se filtra en el subsuelo y corre por ríos subterráneos hacia mantos acuíferos subterráneos y nuevamente hacia el mar. Una vez en el mar, se inicia nuevamente el ciclo.

Pero ¿De dónde vienen los rayos? La respuesta a esta pregunta se encuentra en la segunda y tercera etapa del ciclo del agua. Al elevarse las partículas menos pesadas de vapor de agua, estas chocan con partículas más pesadas de hielo y agua que se encontraban antes ahí. Al chocar, las partículas de hielo le quitan electrones (que son cargas eléctricas negativas) al vapor de agua.

Las partículas más pesadas quedan cargadas entonces con un número mayor de electrones que las partículas menos pesadas. La parte superior de la nube que es menos pesada, tiene una carga neta positiva y la parte inferior compuesta por las partículas más pesadas tiene una carga neta negativa.

Como todos sabemos, las cargas iguales se repelen y las cargas distintas se atraen. De igual manera, la parte inferior de la nube cargada negativamente trata de balancear su carga atrayendo cargas positivas.

Debido a que el aire es un dieléctrico, las cargas no pueden romper la barrera que le presenta el aire. Cuando las cargas son muy grandes dentro de la nube, la rigidez dieléctrica del aire se empieza a romper. La carga eléctrica empieza a buscar el camino más fácil para bajar a través del aire. A la carga eléctrica que se emite desde la nube y que busca la trayectoria más fácil se le llama líder descendente negativo. De igual manera, en la tierra, las cargas se acumulan en los objetos que se encuentran sobre ella. Es una propiedad física el que las cargas eléctricas se acumulen en mayor cantidad sobre estructuras que tienen puntas afiladas.

Todos los objetos en los que se haya acumulado una gran cantidad de cargas positivas empiezan a emitir un líder ascendente positivo (figura 2). Cuando el líder descendente negativo toca a un líder ascendente positivo, se abre un camino en el aire y una gran cantidad de electrones fluye de la nube hacia la tierra. El aire que transmite la carga se calienta tanto que cambia de estado físico, se convierte en plasma.



Figura 2. Del lado derecho, un líder ascendente positivo



La temperatura que puede alcanzar un rayo es inclusive mayor que la temperatura en la superficie del sol. Al calentarse el aire rápidamente, éste se expande y provoca una onda de choque que se transmite en forma de onda sonora. La expansión del aire al calentarse es lo que se conoce como trueno. Cuando se logra el flujo de carga de la nube hacia la tierra, todos los demás líderes descendentes aportan su carga al flujo principal de carga y es por esto, que en un rayo se pueden ver extensiones secundarias o ramificaciones.

Las ramificaciones son simplemente los líderes descendentes que no pudieron hacer contacto con los líderes ascendentes de la tierra. Ver la figura 3.

En la figura 3, se puede ver la descarga principal de la nube así como los líderes descendentes que no tuvieron contacto con ningún líder ascendente.



Es importante mencionar que los sistemas de pararrayos son diseñados para disminuir la probabilidad de daño o lesiones a personas o equipos que se estén protegiendo, ya que los rayos son una energía extremadamente grande, y dado que no se conoce la trayectoria exacta de los rayos, es imposible diseñar un sistema de pararrayos que asegure al 100% el hecho de que no existirán daños o lesiones.

Basado en los principios anteriormente descritos, un pararrayos es simplemente un dispositivo que acumula cargas positivas inducidas por la nube que tiene cargas negativas. Como las cargas se acumulan en mayor medida sobre estructuras que tengan puntas afiladas, los pararrayos tienen puntas afiladas.

Ya que un rayo caerá sobre la estructura de la cual se emita un líder ascendente positivo que tenga contacto con un líder descendente negativo, los pararrayos deben ser la estructura más alta de manera que el líder ascendente que se emita por la punta del pararrayos llegue más rápidamente al líder descendente de la nube y de esta manera se utilice la estructura del pararrayos para drenar la corriente en vez de cualquier otra estructura u objeto.

Ya que el pararrayos va a drenar una gran cantidad de corriente, es necesario que el pararrayos tenga una muy buena conexión a la tierra y que esté preparado para soportar la energía que se drenará a través de él. Es decir, tener un sistema de tierra física y un cable de bajada eficientes.

El pararrayos debe ser la estructura con más altura esto es evidente si se piensa que el líder ascendente del pararrayos debe de llegar primero al líder descendente de la nube.



El sistema de cebado permite ionizar el aire, esto quiere decir, agregar o quitar cargas negativas a las moléculas, así que estas se quedarán con carga negativa o positiva, en el momento en que el aire que pasa por la punta captadora y se ioniza generamos una emisión de iones de cargas positivas y negativas, en el momento en que el rayo se aproxima a tierra gracias a la ley de Coulomb:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 d^2}$$

Que nos dice que las cargas de signo se atraen y las cargas de signo opuesto se repelen con una fuerza igual al cuadrado de la distancia entre ellos.

El 95% de los rayos son catódicos, es decir son con cargas negativas, esto estaría generando que el efecto corona que se genera en su aproximación a la tierra, rechazaría las cargas positivas al suelo y atraería las cargas negativas a él, generando así un líder ascendente con mayor rapidez que la de cualquier líder dentro de la zona de protección.

El 5% de los rayos son de carga positiva lo cual ocasionaría que el efecto corona para la generación de líderes ascendentes positivos con mayor rapidez que la de cualquier otro líder dentro del área de protección.

Calculo de un radio de protección

El cálculo de un sistema de protección con punta de cebado está establecido en la norma NFC17-102.

Primero se determina el nivel de protección que se desea utilizar esto es:

- Nivel I: D=20mts
- Nivel II: D=40mts
- Nivel III: D=60mts

Estos niveles se determinan gracias al análisis de riesgo que se realiza el cual puede ser encontrado en la norma NMX-J-549-ANCE-2005.

Una vez determinado el Nivel de protección se debe de determinar el avance de cebado y de ahí el ΔL , este está dado en la siguiente tabla según el modelo de las distintas puntas:

- TGPE6 $\Delta L=15$ mts
- TGPE9 $\Delta L=30$ mts
- TGPE12 $\Delta L=45$ mts
- TGPE15 $\Delta L=60$ mts

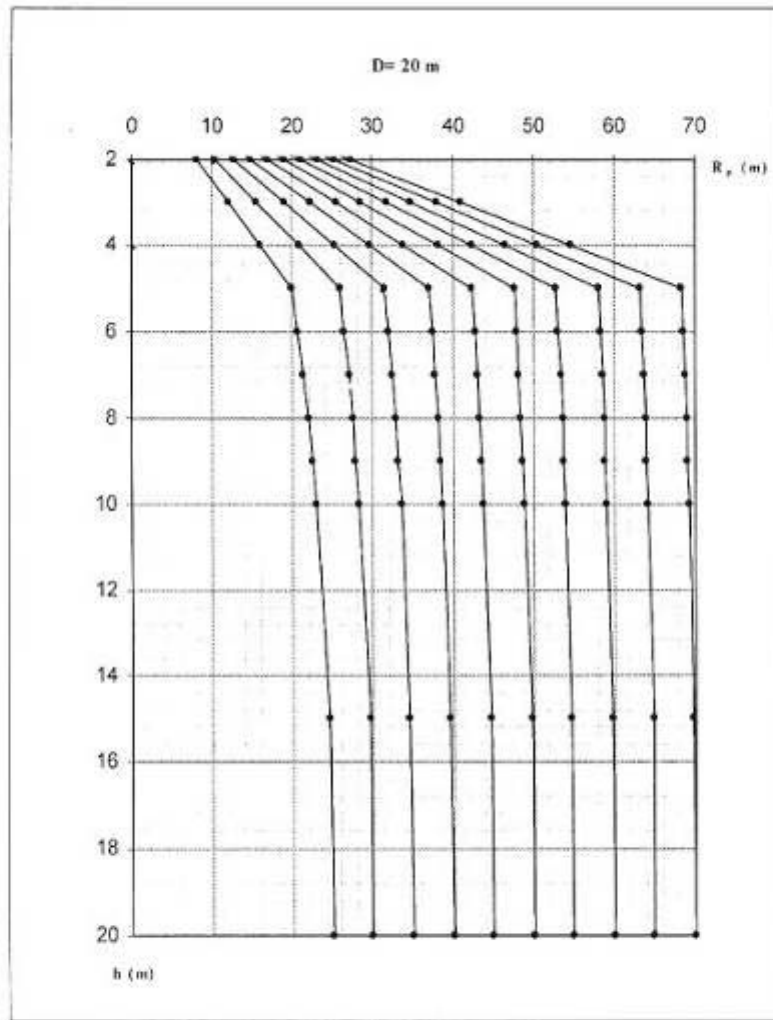


Con estos datos se debe ahora determinar la altura h esta es la altura que existe entre la superficie más alta que se quiere proteger hasta la punta.

Con esto determinado se debe de aplicar la siguiente fórmula:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad \text{Para cuando } h \geq 5$$

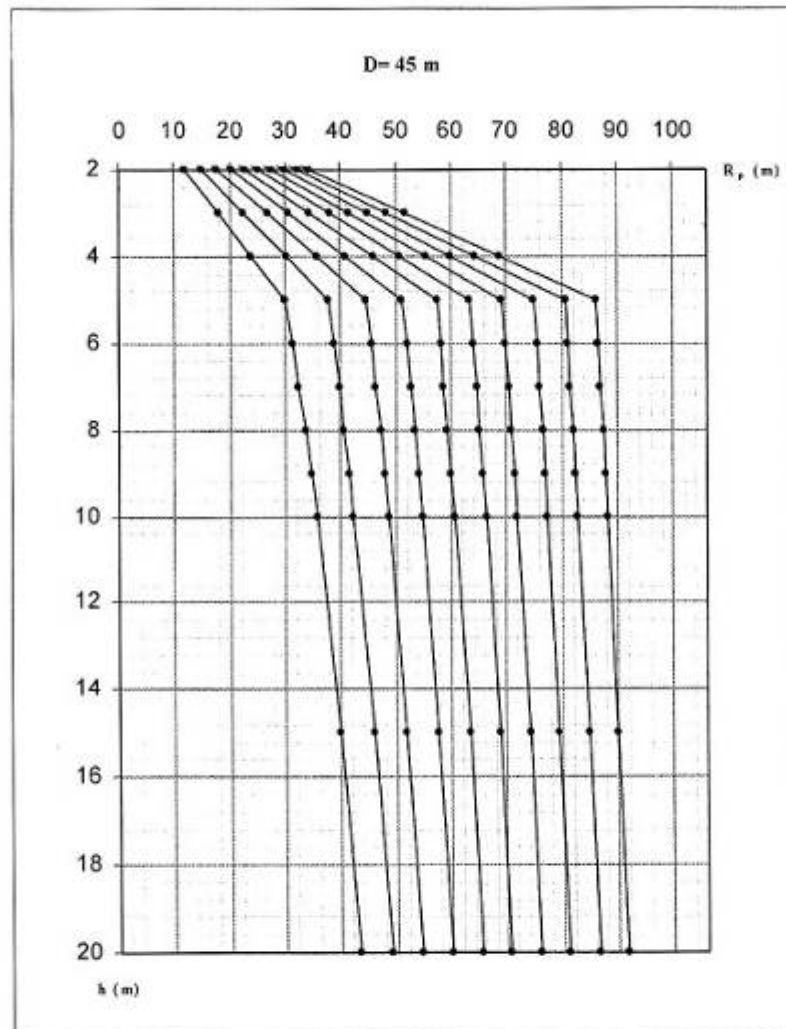
Para cuando tenemos una h menor a 5 se utilizan las graficas que a continuación dependiendo de qué nivel de protección se requiere (viene acompañando de una tabla para la fácil selección sin necesidad de hacer la formula):



D (m)										
20										
DL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
25	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
30	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
35	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
40	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
45	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
50	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
55	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
60	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00

- D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
DL(m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
h(m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
R_p(m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

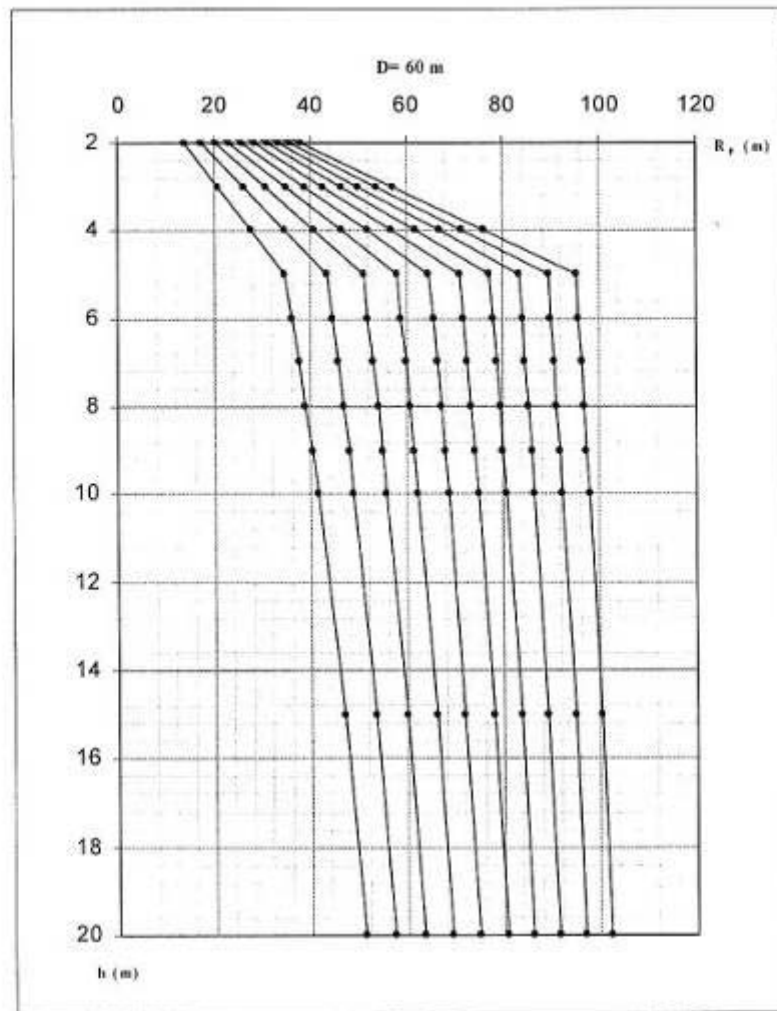
**Fig. 2.2.3.3 a) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
Nivel de protección I (D = 20 m)**



D (m)										
45										
DL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	43.30	48.99	54.54	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.46	91.65
25	45.83	51.23	56.57	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87
30	47.70	52.92	58.09	63.25	68.37	73.48	78.58	83.67	88.74	93.81
35	48.99	54.08	59.16	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47
40	49.75	54.77	59.79	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.86	94.87
45	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
50	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
55	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
60	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00

D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
 ΔL (m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
h (m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
R_p (m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

**Fig. 2.2.3.3 b) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
 Nivel de protección II (D = 45 m)**



D (m)										
60										
ΔL (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (m)	R _p (m)									
20	51.23	57.45	63.44	69.28	75.00	80.62	86.17	91.65	97.08	102.47
25	54.77	60.62	66.33	71.94	77.46	82.92	88.32	93.67	98.99	104.28
30	57.66	63.25	68.74	74.16	79.53	84.85	90.14	95.39	100.62	105.83
35	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.46	91.65	96.82	101.98	107.12
40	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87	97.98	103.08	108.17
45	63.25	68.37	73.48	78.58	83.67	88.74	93.81	98.87	103.92	108.97
50	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47	99.50	104.52	109.54
55	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.86	94.87	99.87	104.88	109.89
60	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00

D(m): Distancia de cebado o radio de la esfera ficticia.
 ΔL(m): Avance en el cebado del pararrayos considerado.
 h (m): Diferencia de altura entre la punta pararrayos y el plano horizontal considerado.
 R_p (m): Radio de protección al nivel del plano horizontal considerado.

**Fig. 2.2.3.3 c) – Radio de protección de pararrayos con dispositivo de cebado
Nivel de protección III (D = 60 m)**