

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS POR MEDIO DE UN SISTEMA DE TIERRA. UNA CONTRIBUCIÓN A LA SEGURIDAD DE LOS HABITANTES DE CONDOMINIOS EN EL INFONAVIT BUENAVISTA EN VERACRUZ, VER

Data de aceite: 01/04/2024

Miguel Ángel Quiroz García

Gamail González Uscanga

RESUMEN: Este trabajo resume la investigación sobre el estudio de las diversas teorías del fenómeno del rayo, así como los diferentes estándares y su utilización en el desarrollo de métodos de protección para poder reducir el daño o pérdida completa de aparatos electrónicos. Debido a la descarga de rayos que se generan en las tormentas eléctricas y que son de gran magnitud, se propone el uso de sistemas de pararrayos en condominios; los sistemas de protección contra descargas atmosféricas se diseñan considerando el tipo de estructura o equipos a proteger, el índice de frecuencia de tormentas como es el caso de la ciudad de Veracruz sobre todo en las épocas llamadas “de nortes”, otras cargas atmosféricas todo esto para la selección adecuada de para rayos así como un sistema de tierras para disipar la energía generadas por las mencionadas descargas. Basado en lo arriba mencionado, los sistema de pararrayos son la solución definitiva para salvaguardar edificios estructuras y

personas de los impactos desbastadores de los rayos, es importante destacar que el sistema de pararrayos no evita que los rayos impactan en el edificio sino que proporciona una ruta segura para la energía del rayo además no existe un sistema de pararrayos que garantice una protección total ya que los rayos son fenómenos naturales impredecibles; sin embargo contar con un sistema de pararrayos correctamente instalado y con un adecuado mantenimiento preventivo, reduce significativamente los riesgos asociados a los rayos.

PALABRAS-CLAVE: Diseño, sistema de pararrayos, sistema de tierras, condominios, protecciones.

INTRODUCCIÓN

Durante las tormentas eléctricas, es muy común que los rayos caigan sobre el mar, arboles, casas y edificios, impactándolos con una potencia que varía entre 200 mil y un millón de voltios. Cuando estos caen sobre los hogares, los electrodomésticos y demás aparatos eléctricos, pueden sufrir sobretensiones (ver figura 1) que pueden provocar daños

irreparables, acortar su vida útil o transformarse en conductores de esta descarga y poner en peligro la vida de nuestra familia.

Por esta razón, se debe estar siempre protegidos con un pararrayos, es de vital importancia tener uno en nuestro hogar. Este dispositivo se lo coloca en el techo de la casa o edificio para dirigir cualquier descarga atmosférica a través de un conductor hasta un sistema de tierra, evitando que las personas puedan sufrir accidentes como recibir descargas eléctricas y los artefactos eléctricos estén protegidos de los altos voltajes.

Por lo general muchas personas desconocen la importancia de los pararrayos, pues no se dan cuenta o no ponen la debida atención, ya que la mayoría de las casas están protegidas por medio de esta conexión. Sin embargo, no todos los pararrayos son iguales pues se debe utilizar el adecuado dependiendo de las necesidades de cada estructura por ejemplo los condominios que son de mayor riesgo por su altura.



Figura 1 Las sobretensiones son el aumento de voltaje por encima de los valores establecidos como máximos entre dos puntos de un circuito o instalación eléctrica

<https://www.keybps.com/que-son-las-sobretensiones-y-que-danos-producen#lightbox/gallery9133/0>

Estos tipos de protecciones están establecidas en las normas de la ley de la electricidad, y se deben de cumplir al elaborar una instalación eléctrica doméstica o industrial, algunas personas no saben sobre estas protecciones que brindan la salvaguarda de sus casas, por esta razón se realiza esta investigación para contar con la información y compartirlas con las comunidades urbanas y rurales sobre la protección que puede brindar un pararrayos en sus hogares.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Descripción del condominio a proteger en el Infonavit Buenavista.

El condominio al cual se le aplicara el sistema de protección contra tormentas eléctricas bajo la norma NMX-J-ANCE- 2005, es un condominio localizado en el Infonavit Buenavista en el puerto de Veracruz, referencia que permitirá la identificación de la densidad de rayos a tierra.

ANÁLISIS DE RIESGO DE RAYOS SEGÚN LA NORMA NFPA - 780

La metodología planteada por la norma NFPA 780 es un análisis sencillo que consiste en comparar 2 ecuaciones para poder determinar si la estructura de estudio necesita o no de un sistema de protección contra rayos. Para esto se tienen en cuenta los siguientes factores.

- Entorno del edificio
- Tipo de construcción
- Ocupación de la estructura
- Contenido de la estructura

CONSECUENCIA DE LOS IMPACTOS DE RAYOS

Como primer paso se debe hacer una estimación de la frecuencia de impactos de rayo que se podrían presentar en la estructura para esto se usa la ecuación

$$N_d = (N_g) (C_1) 10^{-6}$$

Donde:

N_d : Frecuencia anual de impactos de rayos en la estructura.

N_g : Densidad promedio de rayos en la estructura en el lugar donde se localiza.

A_e : Área equivalente colectiva de la estructura.

C1: COEFICIENTE DEL ENTORNO

El coeficiente C_1 determina si existen estructuras más altas más pequeñas o iguales rodeando a la estructura de estudio en un radio de $3H$, donde H es el alto de la estructura de análisis

Por ser un condominio alto, la frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre la estructura (N_d) se considera 0.02.

En las figuras 2 y 3, se muestran la ubicación del condominio y la fachada de este. El condominio cuenta con las dimensiones mostradas en la siguiente tabla 1, basado en los planos arquitectónicos del Infonavit.



Figura 2 Ubicación del condominio



Figura 3. Condominio Infonavit

PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO

Es un sistema de protección externa contra el rayo de alta tecnología. Estos pararrayos tipo PDC se conocen también como pararrayos activos y deben cumplir con las Normas o Reglamentos que le apliquen, tanto nacionales como internacionales (principalmente las normas UNE 21.186, NFC 17.102, Código técnico de la Edificación apartado SU8, y NP4426).

Está compuesto por una punta captadora, un dispositivo de cebado, un elemento de fijación y una conexión al conductor de bajada. La zona protegida de un PDC se determina según su eficacia.

Eficacia de un PDC

Un PDC se caracteriza por su eficacia ΔT que se obtiene en los ensayos de evaluación, el valor máximo admisible de ΔT es $60\mu s$, aunque en los ensayos se hayan obtenido resultados superiores.

Radios de protección

El radio de protección de un PDC depende de su altura (h) respecto a la superficie a proteger, de su tiempo de avance y del nivel de protección seleccionado.

$$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5 \text{ m}$$

$$R_p = h * R_p (h = 5)/5 \quad \text{para } 2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m}$$

- $R^p (h) (m)$ = Es el radio de protección a una altura dada (h).
- $h (m)$ = Es la altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal del punto a proteger más lejano.
- $r (m)$ = 20m para nivel de protección I.
- 30m para nivel de protección II.
- 45m para nivel de protección III.
- 60m para nivel de protección IV.
- $\Delta(m) = \Delta T \times$

Esta norma regula el diseño, realización, revisión y mantenimiento de instalaciones realizadas con pararrayos con dispositivos de cebado. El objeto de estas instalaciones es proteger con la mayor eficacia posible a las personas y bienes materiales.

“...Las frecuencias de las inspecciones indicadas en la tabla deberían aplicarse cuando no hay requisitos específicos de las autoridades competentes.

Además, esta norma recomienda realizar verificaciones periódicas en aquellas instalaciones que tengan un pararrayos con dispositivo de cebado, cuya periodicidad viene dada por el nivel de protección de la instalación acorde a la siguiente tabla No. 1:

	Periodicidad normal	Periodicidad especial
Nivel I	2 años	1 año
Nivel II	3 años	2 años
Nivel III	3 años	2 años

Tabla 1 Verificaciones Periódicas

<https://grupoica.eu/revision-de-pararrayos/>

Área	Altura	Longitudes de los lados de las estructuras:	
		Largo	Ancho
65 m ²	8 m	12 m	5 m

Tabla 2 Medidas en las estructuras

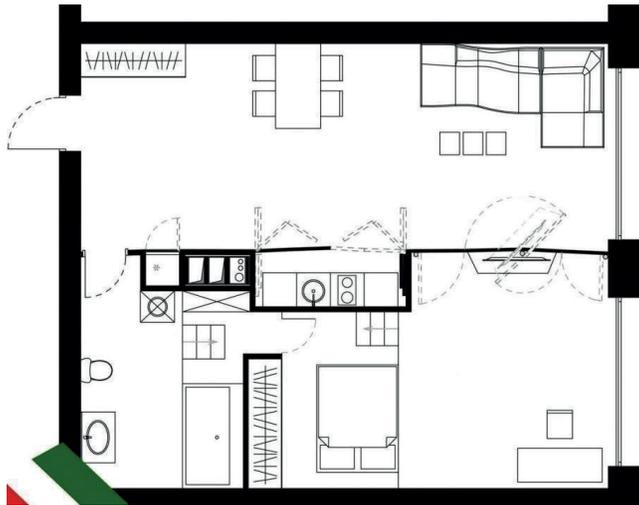


Figura 4. Croquis del condominio del Infonavit

Con respecto a la figura se puede observar que la estructura del condominio es amplia por lo que reside una diversidad de cuartos como baños, sala, y otros cuartos. Cada uno de ellos necesita de la suministración de energía para todos sus equipos que lo integran, por ello se debe de tomar en cuenta una protección contra descargas atmosféricas, ya que estas al impactar en un condominio pueden dañar muchos de los sistemas, eléctricos, de control, de fuerza, entre otros, que integran a los hogares y por ende el problema puede llegar hasta el equipo de los habitantes, e incluso daños a las personas.

VALORACIÓN DE RIESGO

La localización del condominio es importante porque permite evaluar el nivel de riesgo en el que se encuentra la estructura cuándo se instala en zonas donde la densidad de rayos a Tierra es mayores a 2 se debe desarrollar el sistema extenso de protección contra descargas atmosféricas Por ello en base a la ubicación del condominio se identificó con apoyo de las figuras anteriores la densidad de rayos a Tierra por año.

Se obtuvieron las coordenadas (en decimal 19.10° -96.6° correspondientes a los que es Infonavit Buenavista en el puerto de Veracruz lugar donde se encuentran los condominios.

La densidad de rayos a tierra anual (ng) resultante para el condominio corresponde a 4 rayos/km²/año, por lo que se debe instalar un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas.

Para identificar con qué frecuencia anual la estructura se verá impactada por rayos directos se calculará esa probabilidad con la siguiente ecuación.

$$N_0 = N_g \times A_e \times 10^{-6}$$

El área equivalente se calculará con los datos obtenidos con la planta arquitectónica del condominio y con apoyo de la siguiente ecuación donde se encuentra el condominio en terreno y techo de los planos

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$A_e = (12m \times 5m) + 6(8m) (12m + 5m) + 9(3.1416) (8)^2$$

$$A_e = 2685.56m^2$$

Procediendo en sustituir No:

$$N_0 = (4 \text{ rayos/km}^2/\text{año}) \times 2685.56m^2 \times 10^{-6} \quad N_0 = 0.010 \text{ por año}$$

Otra forma para considerar si se instala o no un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas en el condominio es estimando la necesidad de protección

Como N_0 (0.010) es $< N_d$ (0.02) no debe instalarse un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas.

Desarrollado el análisis de la valoración de riesgo en los condominios y considerando que no es necesaria la implementación de un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas, considerando el condominio de multifamiliar municipal que se encuentran ubicadas en el centro en la calle 5 de mayo entre montesinos y constitución en el puerto de Veracruz, México, tiene una altura de 18m se desarrolla la elección de los elementos que integran a este sistema a partir del radio de protección.



Figura 5. Condominio de comparación

CÁLCULO DEL RADIO DE PROTECCIÓN

El cálculo del radio de protección se debe realizar mediante el método de la esfera rodante. Para determinar el radio de la esfera es necesario identificar y seleccionar el nivel de protección. Por ser una estructura de condominio, se consideran como efectos de las tormentas eléctricas daños a las instalaciones eléctricas, pánico, falla de dispositivos electrónicos, pérdidas de enlace de comunicación, falla de computadoras y pérdidas de información, por lo tanto, el nivel de protección que se recomienda con respecto a la tabla de la norma es Nivel de protección 1.

El nivel de protección permite identificar el radio de la esfera rodante (r_s), mostrando los resultados en la tabla 3

Posicionamiento del sistema de captura (pararrayos)

		Nivel de protección de rayo (LPL)				
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico mínimo	I	kA	3	5	10	16
Radio de la esfera rodante	R	m	20	30	45	60

Tabla 3 Valores mínimos de la corriente del rayo y radios de la esfera rodante para cada nivel de protección de rayo (LPL), según IEC 6235.

Tomado de <https://electrica.mx/metodo-de-la-esfera-rodante/>

Corroborando los resultados del radio de la esfera obtenidos de la tabla anterior, se calcula el radio de la esfera rodante en base a la siguiente ecuación.

Identificando que k y c son factores obtenidos a través de estudios de campo de gradiente de potencial de grandes arcos eléctricos generados en laboratorio se tiene que $k=9.4$ y $c=2/3$, tomando como $I=6kA$.

Sustituyendo los datos se obtiene:

$$r_s = (9.4) \times (3)^{2/3}$$

$$r_s = 19.55 \approx 18m$$

Considerando que la esfera rodante tendrá un diámetro de 36m, en el centro de la circunferencia se ubicará un pararrayos. Cuya instalación debe considerarse alrededor de todo el condominio, puntas de pararrayos marcadas en color magenta y 76 puntos de intersección con el conductor horizontal para la protección del condominio a lo largo y ancho de la azotea del edificio, marcados en color azul figura 5.

SELECCIÓN DE LOS PARARRAYOS

La altura de las terminales está limitada con respecto a la norma a 3m por encima del objeto a proteger, considerando el radio de protección en el diseño. Por ello se proponen para la instalación puntas franklin a 60cm de alto. Para el cálculo del número de terminales aéreas y su ubicación se debe considerar instalar adicionalmente conductores horizontales alrededor del condominio formando lazos cerrados a cada 20m de altura con conductor desnudo calibre 4/0, 107.21mm^2 , 28 hilos, siendo que la altura del condominio se encuentre a 20m de altura.

LECTURA E INTERÉS POR LA LECTURA

Sistema interno de protección contra tormentas eléctricas.

Arreglo del sistema de puesta a tierra.

Todo sistema de protección contra tormentas eléctricas debe estar conectado a un sistema de puesta a tierra (STP) para disminuir los potenciales de paso y contacto, tratando de reducir el riesgo de electrocución y formación de arcos eléctricos en las partes metálicas que ponen en peligro a las personas y al equipo.

Cada conductor de bajada llevara un arreglo de 3 electrodos con la configuración que se muestra en la siguiente figura, cuando estos no se encuentren interconectados entre sí, debe de mantener un nivel no mayor de 10Ω como valor de resistencia a tierra por cada arreglo de electrodo de los conductores de bajada. Los electrodos se deben de unir con conductores desnudos horizontales enterrados, además de ir cada uno en un registro con dimensiones de 32cm x 32cm x 32cm.

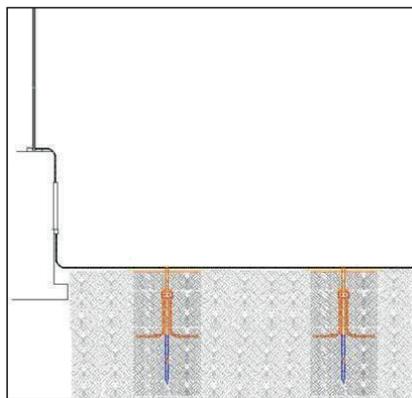


Figura 5. Puesta a tierra

Los electrodos de puesta a tierra van a ser varillas de acero con recubrimiento de cobre para que brinde la protección contra la corrosión del terreno su longitud se propone de 3m, 16mm (5/8 in), para su instalación se debe cuidar su separación que va a ser dos veces la longitud del electrodo. Para los electrodos horizontales su instalación será a 0.6m mínimo de profundidad a una distancia mínima de 1m a la estructura.

En este caso el área alrededor de la estructura se encuentra cubierta de concreto, por lo tanto, no es necesario instalar arreglos adicionales de sistemas de puesta a tierra para la protección del tránsito de personas contra el riesgo de electrocución.

ACCIONES PARA CONSERVACIÓN DE PARARRAYOS

La conservación de pararrayos es muy importante, ya que permite tener en buen estado el Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas y el Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas para su buen funcionamiento, así mismo evitar otro tipo de riesgos para las personas que ocurren al centro comercial. Por ello es necesario que se le dé un correcto mantenimiento por personal capacitado, alrededor de cada seis meses al año.

Principalmente se hacen pruebas cualitativas, donde se revisa el estado de todos los elementos del sistema, otra prueba es cuantitativa, en esta se llevan a cabo algunas mediciones y por último se le debe de dar un mantenimiento preventivo, algunos de estos procedimientos se enumeran a continuación.

PRUEBAS CUALITATIVAS

- Revisar el cabezal de los pararrayos
- Comprobar el amarre y posible oxidación del mástil.
- Verificar el estado del cable conductor del pararrayos.
- Comprobar amarre, conectores y tubo de protección
- Comprobar que ningún elemento nuevo haya variado las condiciones del estudio de instalación del pararrayos original.
- Verificar el estado del supresor contra tensiones.
- Verificar el estado físico del mástil.

PRUEBAS CUANTITATIVAS

- Toma de tierra. Comprobar amarres, conectores y medida de la resistencia a tierra, recordando que no habrá sobrepasar los 10 Ω .
- Medir la resistencia del electrodo de puesta a tierra, este no deberá de sobrepasar los 10 Ω .

- Medir la continuidad de conexión electrodo-cable.
- Medir la continuidad de conexión cable-cable.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Limpiar el registro a tierra.
- Reapretar las conexiones electrodo-cable.
- Verificar los puntos de agarre y unión de los tensores.
- Verificar el aislamiento de soporte de pararrayos.

VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

El mantenimiento de cualquier SPCR es indispensable, en efecto ciertos componentes pueden perder su eficacia el transcurso del tiempo, debido a la corrosión, inclemencias atmosféricas, golpes mecánicos e impactos del rayo. Las características mecánicas y eléctricas de un sistema de protección contra el rayo deben ser mantenidas durante toda su vida, con el fin de satisfacer las prescripciones normativas.

ANÁLISIS ECONÓMICO EN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS

En un condominio es importante invertir en un sistema de protección ya que por sus dimensiones y aplicación es necesario que, de seguridad tanto a sus habitantes como a los aparatos electrónicos, además del equipo que se encuentre instalado en su interior. A continuación, se muestra en la figura 6, el presupuesto económico de los principales elementos que se necesitan para la instalación del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas, considerando para cada uno los costos indirectos, la mano de obra y el proyecto de ingeniería.

REF.	Descripción completa	MATERIAL	MANO DE OBRA	INDIRECTOS	PRECIO UNITARIO
1	Punta tipo faraday de cobre cromada de 60 cm	\$ 270.44	\$ 60.87	\$ 62.95	\$ 394.26
2	Base plana redonda para punta de cobre / bronce	\$ 151.95	\$ 60.87	\$ 40.44	\$ 253.26
3	Cable de cobre especial pararrayos de 28 hilos calibre 4/0	\$ 119.00	\$ 13.91	\$ 25.25	\$ 158.16
4	Tubería conduit de 21 mm (3/4")	\$ 170.75	\$ 200.00	\$ 70.00	\$ 440.75
5	Cople de 3/4" para unión de tubería	\$ 200.40	\$ 150.30	\$ 84.44	\$ 435.14
6	Caja de conexión	\$ 270.40	\$ 120.10	\$ 68.05	\$ 458.55
7	Intensificador para tierra, bulto de 11.36kg, <i>Sólo si es necesario tratar la tierra para proporcionar la resistencia y resistividad para el SPT. Se recomienda hacer un estudio de resistividad.</i>	\$ 250.00	\$ 65.74	\$ 59.99	\$ 375.73
8	Varilla tipo COPPERWELD de 5/8" de diametro y 3 m de longitud.	\$ 153.62	\$ 60.87	\$ 40.75	\$ 255.24
9	Conector de cobre para cable en paralelo o a 90° en tubo o varilla, tubo de 3/8" (10mm) varilla 5/8" (16mm) calibre 2/0 AWG al 250kCM.	\$ 206.40	\$ 22.38	\$ 43.47	\$ 272.25
10	Registro para electrodos de puesta a tierra con tapa	\$ 262.50	\$ 105.18	\$ 69.86	\$ 437.54
11	Barra de tierra de cobre considerando soportes tipo omega, aisladores taquetes, tornillos y rondanas tropicalizadas.	\$ 883.95	\$ 525.91	\$ 267.87	\$ 1,677.73
12	Conductor de cobre desnudo, calibre 4/0 AWG.	\$ 144.18	\$ 19.13	\$ 31.03	\$ 194.34
13	Conexión exotérmica tipo "TA", para calibre 4/0 derivación 4/0.	\$ 160.30	\$ 155.53	\$ 60.01	\$ 375.84
14	Conexión exotérmica tipo "XA", para calibre 4/0 derivación 4/0.	\$ 190.50	\$ 155.53	\$ 65.75	\$ 411.78
		TOTAL:	\$ 1,716.32		\$ 6,140.57
		Mano de obra			Proyecto de ingeniería

Figura 6. Cotización económica del pararrayos

COMENTARIOS FINALES

En la protección contra sobretensiones atmosféricas es importante considerar la instalación de una protección contra descargas atmosféricas directas debido a que los condominios tienen mayor riesgo por su altura y además algunos no cuenta con ningún tipo de protección ante este tipo de fenómenos, dejando muy vulnerables presentes en la misma y por lo tanto arriesgándose a interrupciones debido a fallas en la operación de estos equipos.

Un correcto diseño, selección e instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones atmosféricas por impactos directos, aunado a los ya existentes pararrayos y sistemas de tierras de los condominios, permitirá dispersar con rapidez y confiabilidad, cualquier corriente de descarga; además traerá consigo una operación continua y duradera de la subestación, pero sobre todo que el personal estará adecuadamente protegido.

El sistema de puesta a tierra sirve para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de este sistema de protección interno es guardar la vida de los seres vivos. El valor de la resistividad de un terreno puede variar de acuerdo con ciertos factores, en la instalación de un sistema de puesta a tierra un factor importante es la resistencia que este ofrece al paso de la corriente, dicha resistencia varía según algunos elementos. Limitar las tensiones de las partes metálicas de los equipos o máquinas a valores no peligrosos para la persona.

Para la protección del condominio es importante reconocer los trabajos por parte de la ingeniería eléctrica ya que es muy importante el trabajo que ejercen los ingenieros al desarrollar un proyecto de instalaciones eléctricas estas personas no deben perder el objetivo de sus trabajos, pero sobre todo la seguridad de las personas: En este caso también se considera la protección del personal de mantenimiento, ya que son los que entran a las principales áreas de todo tipo de instalación.

La norma NMX-J-549 presenta las consideraciones y el método necesario para la protección de las personas ya que rige como llevar a cabo la instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas dependiendo del dominio la proteger y su ubicación

REFERENCIAS

1. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales- tormentas eléctricas, rayos y pararrayos- Geraldina T. Golup- 2002
2. Fleming T., El hombre que desafió el Rayo, México 1971.
3. Gómez, P. y Guevara, B. (2013). Descargas atmosféricas. Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional, México.
4. Max Gonzalo Dalence Ergueta, "Instalaciones eléctricas"
5. NMX-J-549-ANCE-2005. NORMA MEXICANA. Sistemas de protección contra tormentas eléctricas – Especificaciones, Materiales Métodos de Medición.
6. NTC 4550, Norma Técnica de Protección Contra Rayos, 1999.
7. PERÚEDUCA, Instalación de Sistemas de Protección Eléctrica y Equipos Fotovoltaicos.
8. Revista "National Geographic" Vol. 184, Julio 1993
9. Secretaria de energía. NOM-001-SEDE-2012. NORMA OFICIAL MEXICANA. Instalaciones eléctricas (utilización). México, D. O.
10. Thompson, P; O'Brien, R. "Fenómenos Atmosféricos", 1ra Edición, Editorial Offset Multicolor, México, 1970.

11. <https://polaridad.es/como-es-un-sistema-pararrayos/>

12. <https://1library.co/document/zx068ovz-diseno-sistema-proteccion-descarga-atmosferica-tensiones-edificio-apartamentos.html>

13. <https://at3w.com/blog/guia-basica-de-instalacion-y-mantenimiento-de-los-pararrayos-de-cebado-pdc-dat-controler-remote-de-aplicaciones-tecnologicas/>