



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CON DISPOSITIVOS DE CEBADO PARA EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA – CAMPUS GRAL. GUILLERMO RODRÍGUEZ LARA”

AUTOR: MANZANO VELA CRISTIAN ANDRES

DIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

AGOSTO, 2018

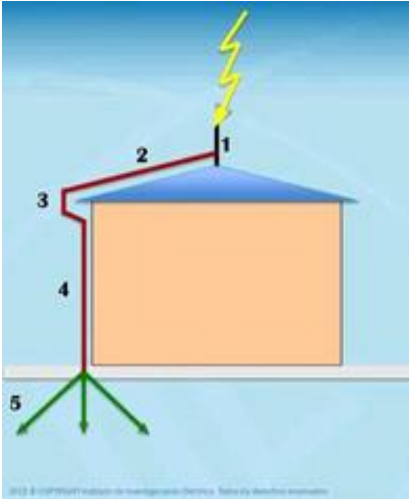




RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente trabajo de investigación se pudo determinar un nivel ceráunico de 20.37 (número de impactos/año, km²) el mismo que se obtuvo con datos estadísticos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y las condiciones climáticas del canto Belisario Quevedo, hay que denotar que no se dispone de un mapa isoceráunico del Ecuador. Se analizó los protectores de descara atmosféricas PDC, su zona de protección y su radio de protección, para el proyecto de investigación se determinó que el radio de protección adecuado para el laboratorio es de 32m.





En el proyecto de investigación se relacionó la localización y área de influencia en donde se desea implementar la protección atmosférica ya que las condiciones tanto climáticas como estructurales juegan un papel decisivo en el diseño, es por esta razón que se considero los siguientes datos:

- Las condiciones climáticas de la parroquia Belisario Quevedo demuestran la presencia de lluvias en las cuales pueden existir rayos o tormentas eléctricas con mayor frecuencia en los meses de Febrero hasta Mayo y en los meses de Octubre y Noviembre según datos del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia.
- Según datos del (Inamhi) a través de un boletín, indica que entre 1998 y 2013 muestra un promedio de 108.200 rayos caen en el Ecuador durante los meses de enero.
- La región amazónica muestra un promedios de 5 a 18 rayos por cada 10 km².





- La región Sierra muestra un promedio de 0 a 3 rayos por cada 10 km².
- La mayor densidad de impactos en la región Sierra se presentan en la provincia de Cotopaxi, específicamente el cantón Sigchos, con un factor de 3 rayos por 10 km².
- En el Litoral, el promedio va de 0 a 4 rayos por cada 10 km².





- En la actualidad los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga campus Belisario Quevedo no cuenta con un sistema o elementos para la protección contra descargas atmosféricas, pese a que se han realizado estudios de mallas de puesta a tierra y de apantallamiento que requiere el campus Belisario Quevedo, es notable la necesidad de proteger las edificaciones donde se realizan las actividades para evitar el riesgo de incidentes perjudiciales.



- ¿Qué sistema de protección contra descargas atmosféricas necesitan las edificaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga campus Belisario Quevedo y que consideraciones se deben tomar en cuenta al aplicarlo?



- Al realizar el estudio de los dispositivos de cebado se requiere un análisis técnico aplicando conceptos y técnicas asistidas, ya que el edificio del laboratorio de Autotrónica necesita de un sistema de protección contra descargas atmosféricas para prevenir incidentes que pueden resultar de forma desafortunada causando no solo daños materiales, en el presente proyecto se pretende realizar: dimensionar e implementar un pararrayos con dispositivo de cebado PDC, así como la puesta a tierra correspondiente sin desfavorecer o atentar contra la red de distribución eléctrica de la edificación.





OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC en el edificio de laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los protectores de descarga con dispositivos de cebado
- Dimensionar el sistema de protección contra descargas atmosféricas
- Implementar un sistema de protección contra rayos en base a dispositivos de cebado PDC
- Desarrollar una metodología para implementar sistemas de protección con dispositivos de cebado.



- La modalidad de la presente investigación se basa en ser netamente exploratoria para la determinación de variables en la implementación del sistema de protección contra descargas eléctricas, además se define como descriptiva y de correlación ya que no existen datos valederos para la obtención de resultados debido a que es imposible predecir el momento exacto en el cual se va a producir un rayo o descarga eléctrica, del mismo modo resulta imposible predecir el lugar exacto en donde esta se realiza, por este motivo la investigación se basa en la utilización de normas extranjeras bajo las cuales se han realizado los diseños de los pararrayos, se debe denotar que no existe información sobre el nivel ceráuneo en la zona pero si existe información climática sobre temporadas de lluvias en las cuales es posible la existencia de tormentas *eléctricas*.



- En base a los datos recolectados sobre el número de descargas eléctricas en la provincia por kilómetro cuadrado y considerando la superficie de Cotopaxi y la de la Parroquia Belisario Quevedo se pueden tener una aproximación sobre el número de descargas eléctricas en la zona.





- Extensión de la Provincia de Cotopaxi: **6109 km²**
- Extensión Parroquia Belisario Quevedo: **37,9 Km²**
- Numero de rayos por Km² estimados por el INHAMI: **3 rayos por cada 10 Km²**

Numero de rayos en Cotopaxi según su extensión

$$\frac{0,3 \text{ Rayos}}{1 \text{ km}^2} \times 6109 \text{ km}^2 = 1832,7 \text{ Rayos}$$



- **Porcentaje que ocupa Belisario Quevedo en Cotopaxi**

$$\frac{100 \% \text{ Km}^2 \text{ Cotopaxi} \times 37,9 \text{ Km Belisario Quevedo}}{6109 \text{ Km}^2 \text{ Cotopaxi}} = \mathbf{0,62 \%}$$

- **Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo**

$$\frac{0,62 \% \times 1832,7 \text{ Rayos}}{100\%} = \mathbf{197,98 \text{ Rayos}}$$





Análisis de resultados

- A partir de los datos obtenidos sobre la estimación de rayos que podrían afectar la parroquia de Belisario Quevedo en base a datos recopilados del INHAMI, los mismos pueden ser relacionados con las temporadas lluviosas, ya que se estima que pueden llegar a tener más incidencia dentro de estos fenómenos climáticos, de tal modo se puede estimar lo siguiente:





- Numero de rayos que podrían caer en Belisario Quevedo= **197,98 Rayos**
- Número de días donde se consideran la caída de rayos = **31 mes (Enero)**
- Número de días donde se consideran las precipitaciones o lluvias en la zona = **121**

Numero de rayos considerados en año por la temporada lluviosas

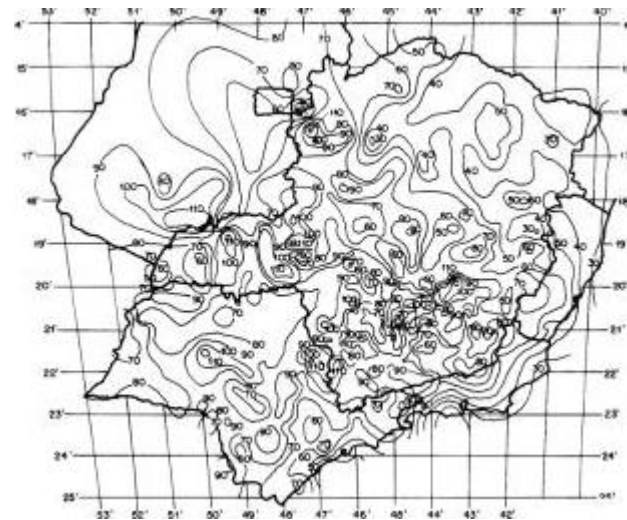
$$\frac{121 \text{ dias}}{\text{año}} \times 197,98 \text{ rayos} = \frac{\quad}{31 \text{ dias}} \text{772,76 Rayos/año}$$





Cálculo del índice ceráuneo

$$\frac{772,26 \frac{\text{rayos}}{\text{año}}}{37,9 \text{km}^2 \text{ Belisario Quevedo}} = 20,37 \frac{\text{rayos}}{\text{Km}^2 \times \text{año}}$$

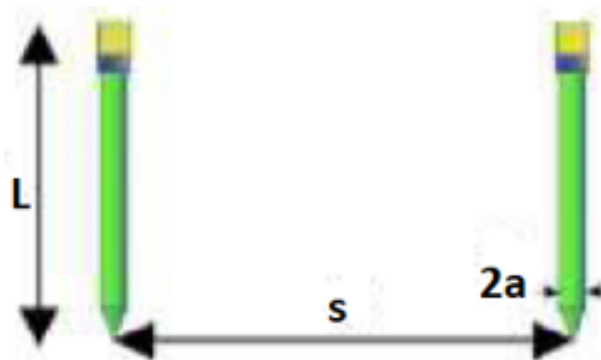




Para el diseño se aplicó las normas IEE 80 y UNE 21186:

- La configuración de dos varillas verticales según la IEE 80.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$$





- El calculo del conductor baiante a tierra

$$A_c = \frac{I * K_f * \sqrt{t_c}}{1,974}$$

Se determinó bibliográficamente que la corriente de falla monofásica media es de 250 KA, *“Los rayos pueden alcanzar intensidades de 200 KA (ocasionalmente 500 KA) con una energía media disipada por el canal de descarga de 10^5 J/m ”*



- Con las normas UNE 21186 :
- **Cálculo de la frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)**

$$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año}$$

$$A_e = L * W + 6H * (L + W) + 9 * \pi * H^2$$

- **Cálculo de la frecuencia aceptable de rayos (N_c)**

$$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$$





- Con las normas UNE 21186 :

Cálculo del nivel de protección y eficiencia

Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario

Si $N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

EFICIENCIA CALCULADA	NIVEL DE PROTECCIÓN CORRESPONDIENTE	DISTANCIA DE CEBADO
$E \geq 0.98$	Nivel I	20m
$0.95 \leq E < 0.98$	Nivel II	30m
$0.80 \leq E < 0.95$	Nivel III	45m
$0 \leq E < 0.8$	Nivel IV	60 m





RESUMEN DE RESULTADOS

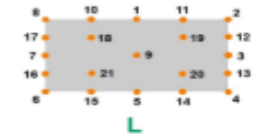
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDAD
Resistencia de la puesta a tierra	9.22	Ohmios
Conductor (bajante a puesta a tierra)	67.44	Milímetros cuadrados
Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d)	0.21	Números de impactos / año
Frecuencia aceptable de rayos (N_c)	0.0002	---
Nivel de protección	$N_d > N_c$	---
	Nivel I , 20 metros	---
Eficiencia del sistema	0.999	---
Radio de protección del PDC a la altura considerada h " R_p "	32	Metros



• COMPROBACIÓN CON TÉCNICA ASISTIDA Laboratorio Autotronica

Parámetros Introducidos

Código:	26598
Ubicación:	Belisario Quevedo -Latacunga
Para la empresa:	ESPE-L Campus Belisario Quevedo
A la atención de:	
Otros Datos:	
Normativa:	UNE 21186
Núm. Impactos:	20.37 Impactos/año, Km ²
Medidas Edificio (m.):	H: 11.26 L: 25.10 I: 42.65 Ht: 0.00
Posición Pararrayos:	9
Situación Estructura:	Aislada
Material Estructura:	Estructura metálica
Material Cubierta:	Cubierta metálica
Contenido Edificio:	Valor común o normalmente inflamable
Uso Edificio:	Ocupada normalmente
Necesidad Continuidad:	Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno



Cálculos Realizados

Superficie de Captura Equivalente (Ae):	9232.54 m ²
Mayor distancia a proteger:	24.74 m
Frecuencia Esperada Impactos (Nd):	0.2069 impactos/año
Riesgo Admisible (Nc):	2.000e-4
Eficiencia Requerida (E):	1.00
Nivel de Protección:	1

Cirprotec recomienda en este caso la instalación del siguiente pararrayos:

Nimbus 15 con radio de cobertura de 32 m






Los resultados obtenidos en el diseño e implementación del sistema de protección contra descargas atmosféricas con dispositivo de cebado PDC serán analizados con los sistemas de protección considerados “tradicionales” ya que son los más usuales tanto por su precio como por su factibilidad de instalación. Por este motivo es necesario recalcar algunas consideraciones estimadas en el diseño de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas tradicionales:

- Las puntas o pararrayos del tipo Franklin son las consideradas como tradicionales en la instalación.
- El análisis del diseño en la instalación de puntas Franklin se basa en el método del ángulo de protección el cual determina un volumen de protección donde el vértice es el captado en la parte externa y el ángulo de protección resultante dependerá del nivel de protección seleccionado así como de la altura de la estructura a proteger.
- Por sus características en la instalación de las puntas Franklin es necesario localizar los lugares de mayor altitud así como los considerados como los más “vulnerables” en la edificación como por ejemplo : los vértices , las salientes , etc.






Por lo general es necesaria la colocación de mallas reticulares en la estructura compuestas de conductores con una separación establecida por el nivel de protección que se seleccionó en el diseño.

- En la instalación del sistema de protección la punta Franklin está conectada a la tierra gracias a un conductor de cobre o alambre de acero con recubrimiento de cobre y en la conexión a tierra es necesario hacer huecos en el terreno y conexiones a placas.
- El principio del funcionamiento de un sistema de protección con una punta del tipo Franklin se basa en una zona de protección teórica en el diseño la cual será formada por el extremo de la punta y el vértice generado por la misma con la estructura dando una forma del tipo cónica por ello el ángulo será dependiente de la apertura generado por el nivel de protección seleccionado generando así un campo eléctrico con tensión elevada el cual suele tomar el nombre de “sombra eléctrica”





Con las consideraciones mencionadas anteriormente podemos relacionar como el diseño e implementación del sistema de protección con dispositivo de cebado PCD determina no solo un nivel de protección mayor si no una cobertura o protección mayor de este modo:

- En el sistema de protección de la presente investigación para la realización de diseño se consideró la longitud, altura, y el ancho de la edificación con la adición de la punta PDC, además se seleccionó un nivel de protección con el cual se obtiene una zona de protección circular o esférica la cual contiene mayor volumen que una cónica.

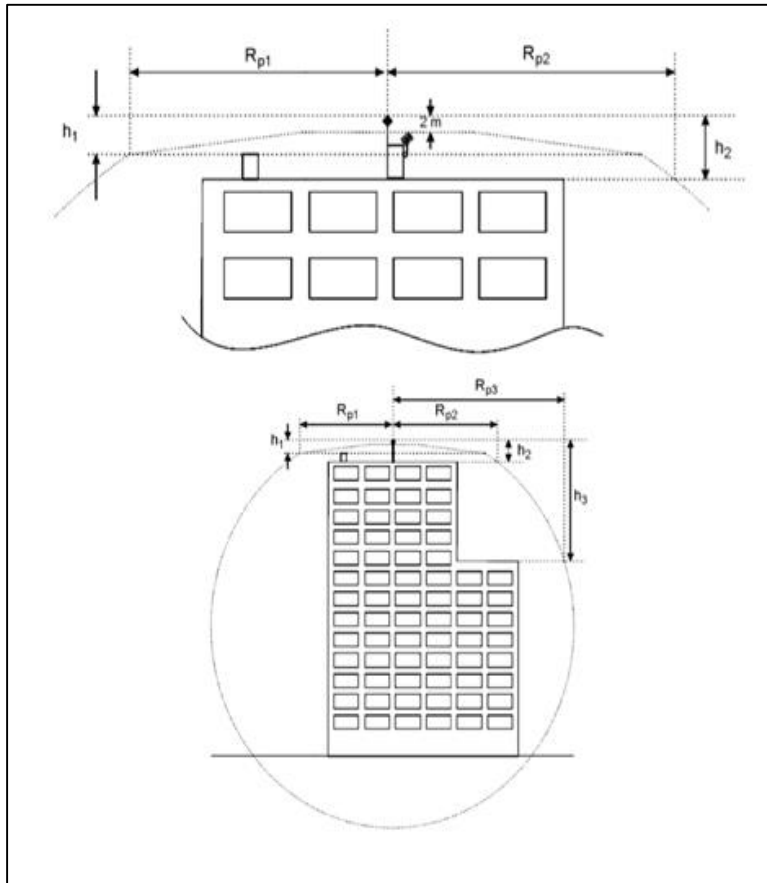


- En la instalación la punta PDC puede colocarse en cualquier localización de la estructura ya que con ello se puede obtener una zona de protección mayor dependiendo del nivel de protección y altura de colocación del PDC es decir no precisa de vértices o salientes así como de zonas “vulnerables” ya que genera una zona de protección mayor.
- No es necesaria la instalación de mallas en la estructura para mejorar la conducción eléctrica resultante de la atracción de la descarga eléctrica.
- El sistema de protección propuesto se basa en generar una esfera de protección con mayor volumen protección sobre la zona, es decir al utilizar el diseño propuesto con el dispositivo de cebado PDC no solo se incrementa la zona a proteger si no que la energía es desviada de forma más eficiente.

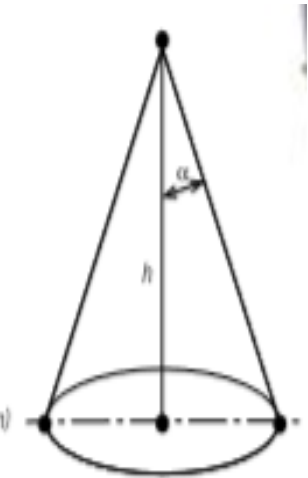
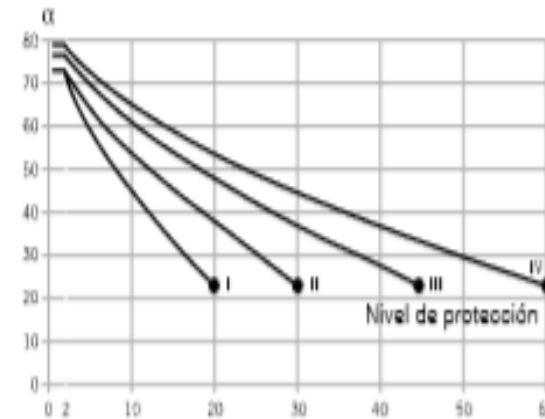




- RADIO DE PROTECCIÓN CON PDC



- RADIO DE PROTECCIÓN CON PUNTAS CONVENCIONALES





Criterios y metodología para implementación

En la tabla siguiente se describe un resumen las fórmulas y criterios a implementar para determinar la implementación en cualquier edificación o estructura a proteger:

ENTADA DE DATOS	FORMULAS	CALCULOS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Puesta a tierra • Resistividad del suelo 	Según configuración de varillas	Tabla de fórmulas para el cálculo de las resistencias a tierra	Resistencia menor a 10 ohmios para protección de rayos
<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de sección de conductor "A_c" • Corriente de falla "I" (entre 200 KA y 500 KA) • Tiempo de despeje de falla (t_c) • Constantes de materiales para puestas a tierras "K_f" 	$A_c = \frac{I * K_f * \sqrt{t_c}}{1,974}$	K_f t_c	A_c





Criterios y metodología para implementación

<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia esperada de impactos directos de rayos (N_d) • Número de impactos/año, km^2 (N_g) • Coeficiente relacionado con el entorno "C_1" • Largo, ancho y altura de la edificación o estructura " L, W, H" 	$N_d = N_g * 1.1 * A_e * C_1 * 10^{-6} / \text{año}$ $A_e = L * W + 6H * (L + W) + 9 * \pi * H^2$	A_e C_1	N_d
<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia aceptable de rayos (N_c) • Tipo de construcción C_2 • Contenido de la estructura C_3 • Ocupación de la estructura C_4 	$N_c = \frac{3 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5}$	C_2 C_3 C_4 C_5	N_c





Criterios y metodología para implementación

<ul style="list-style-type: none"> Consecuencias sobre el entorno C_s 															
<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de implementación 	<p>Si $N_d \leq N_c$, el sistema de protección no es necesario</p> <p>Si $N_d > N_c$, el sistema de protección se debe instalar</p>														
<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia del sistema 	$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$	N_c N_d	E												
<ul style="list-style-type: none"> Nivel de protección 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Eficiencia calculada</th> <th>Nivel de protección correspondiente</th> <th>Distancia de cebado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$E \geq 0.98$</td> <td>Nivel I</td> <td>20m</td> </tr> <tr> <td>$0.95 \leq E < 0.98$</td> <td>Nivel II</td> <td>30m</td> </tr> <tr> <td>$0.80 \leq E < 0.95$</td> <td>Nivel III</td> <td>45m</td> </tr> </tbody> </table>	Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	Distancia de cebado	$E \geq 0.98$	Nivel I	20m	$0.95 \leq E < 0.98$	Nivel II	30m	$0.80 \leq E < 0.95$	Nivel III	45m	De acuerdo a la eficiencia del sistema	Nivel de protección y distancia de cebado
Eficiencia calculada	Nivel de protección correspondiente	Distancia de cebado													
$E \geq 0.98$	Nivel I	20m													
$0.95 \leq E < 0.98$	Nivel II	30m													
$0.80 \leq E < 0.95$	Nivel III	45m													





Criterios y metodología para implementación

	$0 \leq E < 0.8$	Nivel IV	60 m			
<ul style="list-style-type: none"> • Zona de protección • Altura de la punta del PDC sobre el plano horizontal a proteger más lejano "h" • Radio de protección del PDC a la altura considerada h "R_p" 	$R_p = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{para } h \geq 5m$ $R_p = h * R_p(h = 5)/5 \quad \text{para } 2m \leq h \leq 5m$			Según tabla de radios protección del dispositivo a instalar	R _p	





Se analizó los protectores descarga con dispositivos de cebado y se verifico que el radio de protección es mayor a los radios de protección de los pararrayos convencionales ya que ellos prestan una forma cónica en la zona de protección a comparación de la forma esférica generada en zona de protección por los dispositivos PDC.

- Se dimensionó el sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a la norma UNE 21186 y sustentándose en las configuraciones de varillas verticales descritas en la IEEE 80, obteniendo una resistencia de puesta a tierra de 9.22 ohmios los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos y un radio de protección aproximado de 32m para la zona de protección de la edificación.



- Se implementó un sistema de protección contra descargas atmosféricas en base a dispositivos de cebado PDC seleccionando el radio y nivel de protección adecuado para la edificación, determinado que la colocación del pararrayos se debe realizar en la parte más alta y porción media de la superficie de la cubierta del laboratorio de Autotrónica, una bajante a puesta a tierra con conductor 2/0 AWG, y una configuración de 2 varillas verticales de 5/8" de diámetro y 2.40 m de longitud separadas 3 metros entre sí, además de un contador de descargas que guardará información de los eventos suscitados durante una descarga de energía del sistema que se encuentra resguardando el laboratorio de Autotrónica.



- Se desarrolló una metodología para la implementación de sistemas de protección con dispositivos de cebado aplicando normas internacionales y que pueden ser utilizadas en cualquier caso de estudio, siempre y cuando se siga los pasos establecidos en la metodología, tomando en cuenta las fórmulas y los criterios de implementación descritos.
- En base a los análisis de nivel ceráuneo de la zona, los radios de protección de los dispositivos de cebado, la configuración de la puesta a tierra adecuada para el sistema y aplicando las normas internacionales para protección de descargas atmosféricas (rayos), se diseñó e implementó un sistema de descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC en el edificio de laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.



- Para la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas con dispositivos de cebado PDC se recomienda utilizar los criterios de implementación y la metodología desarrollada en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda que los datos recogidos por el contador de descargas sean evaluado cada mes durante un periodo de un año para así obtener un nivel cerámico propio de la zona.
- Para el emplazamiento del mástil y dispositivo PDC se debe considerar la factibilidad de la colocación del mismo, tanto como la altura y ubicación en la edificación, ya que esto interfiere en la zona de protección y la distancia más lejana que cubre el radio de protección en la edificación o estructura que se desea proteger contra descargas atmosféricas.





GRACIAS POR SU
ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA