



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**INTRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN
ELECTRO- ATMOSFÉRICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE
FRANKLIN FRANCE®, COMO EL INSTRUMENTO UTILIZADO PARA
DOMINAR LAS PÉRDIDAS HUMANAS Y MONETARIAS
OCASIONADAS POR EL RAYO EN LA INDUSTRIA**

Luis Antonio Juárez Hancer
Asesorado por el Ing. José Luis Valdeavellano Ardón

Guatemala, agosto de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INTRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN
ELECTRO ATMOSFÉRICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE
FRANKLIN FRANCE®, COMO EL INSTRUMENTO UTILIZADO PARA
DOMINAR LAS PÉRDIDAS HUMANAS Y MONETARIAS
OCASIONADAS POR EL RAYO EN LA INDUSTRIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS ANTONIO JUÁREZ HANCER

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ LUIS VALDEAVELLANO ARDÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA:	Inga. Alba Maritza Guerrero Espinola
EXAMINADOR:	Ing. Pablo Fernández Hernández
EXAMINADOR:	Ing. Hernán Leonardo Cortés Urioste
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**INTRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN
ELECTRO ATMOSFÉRICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE
FRANKLIN FRANCE®, COMO EL INSTRUMENTO UTILIZADO PARA
DOMINAR LAS PÉRDIDAS HUMANAS Y MONETARIAS
OCASIONADAS POR EL RAYO EN LA INDUSTRIA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Industrial, en noviembre de 2005.

Luís Antonio Juárez Hancer

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de Escuela, se procedió a la asesoría del trabajo de graduación titulado **INTRODUCCION Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCION ELECTRO ATMOSFERICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE FRANKLIN FRANCE® COMO EL INSTRUMENTO UTILIZADO PARA DOMINAR LAS PERDIDAS HUMANAS Y MONETARIAS OCASIONADAS POR EL RAYO EN LA INDUSTRIA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Antonio Juárez Hancer**.

El trabajo presentado por el estudiante Juárez ha cumplido con los requisitos reglamentarios consultando bibliografía adecuada e investigación de campo: siguiendo las recomendaciones de la asesoría y en tal virtud tanto el autor como el asesor son responsables por el contenido del mismo y solicito la aprobación del mismo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'JL Valdeavellano', is written over a large, loopy scribble. The signature is positioned above the printed name of the advisor.

Ing. José Luis Valdeavellano
Catedrático Asesor de trabajos de Graduación
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, junio 2006

/mgp

ACTO QUE DEDICO A

- Dios** Por darme la vida, valor y fortaleza para haber llevado a cabo el proceso de culminar mi carrera.
- Mis padres** Luis Gerardo Juárez López
Ingrid Jeannette Hanser Pérez de Juárez
Que me han guiado con incondicional y desinteresado amor y ejemplo de vida.
- Mi Esposa** Ana Sofía Enríquez Palma de Juárez
Por ser ella el gran amor de mi vida y el complemento perfecto para que hoy sea especial, gracias Flaca, por ser como eres, te amo y te digo que eres lo máximo.
- Mi hijo** Luis Emilio Juárez Enríquez, porque eres la felicidad en mi Vida, además de que eres esa fuente valiosa de inspiración y amor puro. Te adoro con todo mi corazón.
- Mi futuro hijo** Diego Andrés Juárez Enríquez
Por ser mi luz y una nueva alegría; te espero con ansias.
- Mis hermanos** Ingrid Denisse Juárez Hancer
Gerardo José Juárez Hancer
Por su cariño, apoyo y verdadera amistad.
- Quienes** Han formado parte de mi vida, a mis amigos que los llevo en el corazón, a mi familia política, gracias les doy por haberme recibido y por su apoyo.

AGRADECIMIENTO A

Mi patria Guatemala

La facultad de Ingeniería

Mi asesor Ingeniero José Luis Antonio Valdeavellano

Mis catedráticos Por darme los conocimientos necesarios para ser un profesional de éxito.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES	
1.1 Definiciones de rayo	1
1.2 Teorías sobre rayos	2
1.2.1 Simpson	2
1.2.2 Elster Geitel	2
1.2.3 Wilson	3
1.2.4 Cristales de hielo	3
1.3 Formación y producción de la descarga	3
1.4 Localización del rayo	6
1.5 Tipos de rayos	7
1.5.1 Positivos	8
1.5.2 Negativos	8
1.6 Efectos del rayo	9
1.7 Estaciones climatológicas de mayor incidencia	11
1.8 Principios de la protección	11
1.8.1 Terminología general en materiales	11
1.9 Principio fundamental de la protección	13
1.10 Requisitos de la protección	13

1.11	Elementos que determinan la protección	14
1.11.1	Nivel isosceráunico	14
1.11.2	Tipo de edificio	15
1.11.3	Suelo	15
1.11.4	Exposición a los rayos	16
1.11.5	Peligro personal	16
1.11.6	Pérdidas indirectas	16
2.	PRINCIPALES SISTEMAS DE PROTECCIÓN	
2.1	Evolución de los pararrayos	17
2.1.1	Tipo punta Franklin	17
2.1.2	Jaula de Faraday	17
2.1.3	Pararrayo ionizante marca Franklin France	17
2.2	Sistemas de protección convencionales	18
2.2.1	Pararrayos tipo punta Franklin	18
2.2.1.1	Principio	18
2.2.1.1	Aplicación	19
2.2.1.2	Esquema de protección	19
2.2.1.3	Normas de instalación	20
2.2.1.4	Ventajas y desventajas	22
2.2.2	Jaula de Faraday	22
2.2.2.1	Principio	22
2.2.2.2	Normas de instalación	23
2.2.2.3	Esquemas de protección	24
2.2.2.4	Ventajas y desventajas	25
2.3	Pararrayos ionizante Franklin France	25
2.3.1	Principio	25

2.3.2	Funcionamiento	26
2.3.3	Descripción	27
2.3.4	Esquema de protección	29
2.3.5	Tipos de modelos que hay	31

3. COMPARACIONES ENTRE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONVENCIONALES E IONIZANTES

3.1	Ejemplo modelo	31
3.1.1	Pararrayos punta Franklin	32
3.1.1.1	Diseño	32
3.1.1.2	Materiales	33
3.1.1.3	Costos	34
3.1.2	Jaula de Faraday	
3.1.2.1	Diseño	35
3.1.2.2	Materiales	36
3.1.2.3	Costos	36
3.1.3	Pararrayo ionizante Franklin France	
3.1.3.1	Diseño	37
3.1.3.2	Materiales	38
3.1.3.3	Costos	38
3.1.4	Cuadro resumen	39
3.2	Comparaciones técnicas	39
3.3	Comparaciones arquitectónicas	40
3.4	Comparaciones económicas	40
3.5	Área de protección	41

**4. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRO ATMOSFÉRICO
TIPO PARARRAYO IONIZANTE, MARCA FRANKLIN FRANCE®**

4.1	Presentación de la empresa donde se hará la aplicación del sistema	43
4.2	Situación antes de la aplicación	43
4.3	Situación durante la aplicación	45
4.4	Situación después de la aplicación	47

**5. BENEFICIOS DE APLICAR UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRO
ATMOSFÉRICO IONIZANTE, FRANKLIN FRANCE®**

5.1	Ahorro monetario en comparación con los otros dos sistemas	49
5.1.1	En la instalación	49
5.1.2	En su mantenimiento	49
5.2	Reducción de riesgos	50
5.2.1	En la seguridad e higiene industrial	50
5.2.1.1	Protección ambiental	52
5.2.1.2	Costo / beneficio en proteger al trabajador	53
5.2.2	En la producción	55
5.2.2.1	Costos directos en paro de la producción por una descarga	57
5.2.2.2	Costos indirectos en paro de la producción por una descarga	57
5.2.2.3	Costo / beneficio para la producción al aplicar esta protección	58

CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Nube cumulonimbus	4
2.	Rayos negativos	8
3.	Rayos positivos	9
4.	Tipos de tierras físicas	13
5.	Nivel isosceráunico	14
6.	Radio protección punta Franklin	19
7.	Esquema de instalación Jaula de Faraday	24
8.	Pararrayos Saint Elme	27
9.	Tipo de protección	29
10.	Edificio modelo	32
11.	Protección punta Franklin	33
12.	Esquema jaula de Faraday	35
13.	Esquema Saint Elme	37
14.	Área a proteger	45
15.	Fábrica almacenaje de combustible	52
16.	Impacto de rayo en bodega de COMELEC	53
17.	Ejemplo de muerte humana	54
18.	Ejemplo de instalación	56
19.	Catálogo promocional de Franklin France	69
20.	Instalación pararrayos Saint Elme	70
21.	Instalación pararrayos Saint Elme 15	70
22.	Instalación pararrayos en fábrica de zona 12	71

TABLAS

I.	Tipos de suelo y sus resistencias	16
II.	Radios de protección	30
III.	Cuadro de comparaciones	39

GLOSARIO

Rayo	El rayo es una descarga eléctrica: en general, las partes superiores de las nubes de tormenta poseen carga positiva mientras que en las partes centrales predominan las cargas negativas. La región de máxima intensidad de campo eléctrico se halla entre ambas zonas de distinta polaridad.
Rayos positivos	Estos rayos son aquellos cuando la descarga se produce desde la tierra hacia el cielo, éstos son más raros y los más destructivos, de los cuales debemos cuidarnos ya que éstos son los responsables de la mayoría de pérdidas monetarias y humanas, en la industria.
Rayos negativos	Estos rayos son aquellos cuando la descarga se produce desde la nube hacia tierra, éstos son los que observamos.
Punta Franklin	El primero fue instalado por Benjamín Franklin en 1760, consta de una simple asta de hierro vertical que termina con una punta conectada a tierra.
Jaula de Faraday	En 1844, el físico belga Melses plantea proteger los edificios mediante una caja de Faraday, compuesta de cintas metálicas y alambres distribuidos en la superficie de la construcción.
Saint Elme	Pararrayos ionizante de emisión controlada.

RESUMEN

Se conocerá en forma breve y concisa lo que significa el rayo comúnmente, las diferentes teorías que existen por grandes científicos sobre los rayos, lo que es el campo eléctrico en el interior de las nubes, la formación y producción de la descarga, la localización del rayo, los diferentes tipos de rayos que existen, los efectos que producen los rayos y las estaciones en que más se producen los rayos.

Se darán a conocer los principios de la protección definiendo la terminología general a utilizar para una mejor comprensión del proyecto de graduación, conoceremos el principio fundamental de la protección como lo son los requisitos de la protección y el nivel Isosceráunico, las características físicas y arquitectónicas del tipo de edificio a proteger, el tipo de suelo donde se realizará la instalación, la exposición del lugar a los rayos, el peligro personal y las pérdidas indirectas.

Se podrá observar el proceso de evolución de los principales sistemas de protección el tipo de protección convencional como lo es la Punta Franklin analizando su principio, aplicación, esquema de protección, normas de instalación, las ventajas y desventajas; la Jaula de Faraday conociendo su principio, normas de instalación, esquemas de protección las ventajas y desventajas.

Observaremos y analizaremos uno de los puntos más importantes de este trabajo de graduación, el Pararrayo de protección Electro atmosférica tipo Ionizante Franklin France®, que es un pararrayos de emisión controlada llamado Efecto Corona, analizaremos su principio, funcionamiento, descripción, esquema de protección y los tipos de protección que existen.

Para la realización y con el objeto de efectuar una comparación, utilizaremos un ejemplo modelo. Se tomará un edificio con iguales características para de esta manera darle paso al análisis con el sistema de la Punta Franklin con su diseño, materiales y costos, se realizará el mismo estudio del diseño, materiales y costos con el sistema de la Jaula de Faraday. Como paso siguiente se analizará el pararrayo ionizante Franklin France® con su diseño, materiales y costos. Todo esto se analizará conjuntamente en un cuadro resumen, dando paso al estudio de las características técnicas, arquitectónicas, económicas y áreas de protección que nos indicarán que la mejor opción por su respaldo, seguridad, economía y garantía, es el pararrayo Ionizante Franklin France®.

Se observará la aplicación de un sistema de pararrayos; para dicha aplicación analizaremos a la empresa COMELEC, se conocerá en forma breve la historia de la empresa, se dará a conocer la descripción del servicio que ellos realizan y el porqué fue escogida para esta aplicación. Analizaremos su situación antes que ellos aplicaran el sistema de pararrayos Ionizante a su empresa, el estudio que se realizó para poder aplicar el sistema correctamente, su situación durante la aplicación del sistema, esto incluye costos y la forma de instalación del mismo, así como también su situación después de haber instalado el sistema de pararrayos.

En la última parte del proyecto analizaremos los beneficios que se adquieren al momento de aplicar el sistema ionizante Franklin France®, analizaremos el ahorro monetario en diferencia con los otros dos sistemas que existen para la protección contra rayos.

OBJETIVOS

- **General**

Aplicar un sistema de protección electro-atmosférico tipo pararrayo ionizante Franklin France®, como el instrumento utilizado para dominar las pérdidas humanas, reducción de accidentes y protección a los activos de la industria.

- **Específicos**

1. Dar a conocer en forma breve lo que es el rayo.
2. Explicar con claridad los tipos de rayos que existen.
3. Conocer los sistemas de protección contra rayos que existen, su funcionamiento y sus diferencias.
4. Implementar los sistemas de protección contra rayos tipo Ionizantes Franklin France®.
5. Comparar y analizar la situación anterior y la actual, al aplicar el sistema de protección contra rayos tipos ionizantes donde se realizó el estudio.
6. Mostrar resultados a corto plazo con la aplicación de este sistema de protección.
7. Beneficios de aplicar este sistema.

INTRODUCCIÓN

En realidad, el rayo es una enorme chispa o corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra. El rayo puede cruzar kilómetros de distancia y se origina en un tipo de nube llamada **cumulonimbos** o nube de tormenta (los **cumulonimbos** son nubes de gran extensión vertical que se caracterizan por la generación de lluvias, a menudo superan los 10 Km de altura, dentro de estas, es frecuente encontrar fuertes corrientes de aire, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la de congelación, cristales de hielo y granizos).

El rayo es uno de los fenómenos más peligrosos de la atmósfera y dura unos pocos segundos, es siempre brillante y casi nunca sigue una línea recta para llegar al suelo o quedarse suspendido en el aire, adoptando formas parecidas a las raíces de un árbol.

El rayo es una descarga eléctrica. En general, las partes superiores de las nubes de tormenta poseen carga positiva, mientras que en las partes centrales predominan las cargas negativas. La región de máxima intensidad de campo eléctrico se halla entre ambas zonas de distinta polaridad.

Existen varios tipos de rayos como lo son: Rayos difusos: se presentan como un resplandor que ilumina el cielo a causa de ser muy frecuentes en verano, se les denominaba relámpagos de calor. Los Rayos laminares: son aquellos resplandores que resultan de la descarga dentro de la nube, entre la carga eléctrica positiva y la negativa. Los rayos tipo esferoidal, rayo de bola o rosario: se presenta en forma de esfera luminosa, llegando a alcanzar el tamaño de una pelota de fútbol.

Pero los más importantes a conocer son los tipo positivos o negativos. Los RAYOS que nosotros comúnmente observamos son los de nube-tierra (positivos) que son de arriba hacia abajo, pero lo que no sabemos es que existen rayos que suben o sea de tierra-nube (negativos), que son los más destructivos para los equipos eléctricos, telefonía, cómputo y demás componentes que necesiten de corriente para su funcionamiento.

Para protegernos, en la actualidad, existen diversos esquemas o sistemas de protección, por lo cual este trabajo de graduación describe la evolución y normas de instalación de los diferentes sistemas de protección convencional (sistemas Franklin, Jaula de Faraday), y en especial el sistema de protección Ionizante.

El contenido del proyecto consta de las generalidades de las diferentes aplicaciones de un pararrayo, lo que es el rayo, los tipos de rayos que hay, los sistemas existentes actuales para protegernos, la aplicación de un sistema en la empresa COMELEC, que se dedica a la instalación de sistemas de protección contra rayos y tierras físicas, observaremos y analizaremos su situación anterior al sistema y la actual.

En la última parte del proyecto analizaremos los beneficios que se adquieren al momento de aplicar el sistema ionizante Franklin France®, analizaremos el ahorro monetario en diferencia con los otros dos sistemas que existen para la protección contra rayos.

1. GENERALIDADES

1.1 Definiciones de rayo

La chispa eléctrica que llega a tierra recibe el nombre de **rayo**, mientras que, la chispa que va de una nube a otra, se llama **relámpago**, aunque normalmente los dos son usados como sinónimos del mismo fenómeno. La aparición del rayo es sólo momentánea, seguida a los pocos momentos por un **trueno**.

Las descargas atmosféricas llamadas, comúnmente, rayos, son canales de energía eléctrica pulsante de cinco centímetros de ancho cuyas longitudes oscilan entre sesenta metros y treinta kilómetros, con una velocidad de ciento cuarenta y cinco mil kilómetros, en realidad, el rayo es una enorme chispa o corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra. El rayo puede cruzar kilómetros de distancia y se origina en un tipo de nube llamada **cumulonimbus** o nube de tormenta (los **cumulunimbus** son nubes de gran extensión vertical que se caracterizan por la generación de lluvias, a menudo superan los 10 Km de altura, dentro de estas, es frecuente encontrar fuertes corrientes de aire, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la de congelación, cristales de hielo y granizos).

El rayo es uno de los fenómenos más peligrosos de la atmósfera y dura unos pocos segundos, es siempre brillante y casi nunca sigue una línea recta para llegar al suelo o quedarse suspendido en el aire, adoptando formas parecidas a las raíces de un árbol.

El rayo es una descarga eléctrica. En general, las partes superiores de las nubes de tormenta poseen carga positiva, mientras que en las partes centrales predominan las cargas negativas. La región de máxima intensidad de campo eléctrico se halla entre ambas zonas de distinta polaridad.

1.2 Teorías sobre rayos

Existen varias teorías acerca de la formación de rayos entre las que se encuentran la de Simpson, Elster Geitel, Wilson y la de Cristales de hielo. Todas están basadas en el movimiento de las masas de aire.

1.2.1 Simpson

Establece que las cargas eléctricas de las nubes se deben a la actividad de las corrientes de aire en su interior; las corrientes ascensionales transportan vapor húmedo y a determinada altura se condensan produciéndose gotas de agua que por su peso caen, encontrándose en el camino nuevas corrientes ascensionales de aire que provocan su rompimiento (gotas mas pequeñas) repitiéndose así el proceso. Este rompimiento provoca la liberación de aniones que se dispersan en la atmósfera y son llevados a la parte inferior de la nube por corrientes de aire cargándose su parte superior por inducción en forma positiva.

1.2.2 Elster Geitel

Se fundamenta sobre el estudio de una gota de lluvia por la aplicación de un campo eléctrico de 100v/m, estableciéndose en su superficie una polarización positiva en su parte superior y negativa en su parte inferior; las corrientes de aire producen una disminución de tamaño de la gota que cae encontrando en su camino otra gota de mayor tamaño que aumenta su cargas por adición, repitiéndose el proceso hasta que se produce el trueno.

1.2.3 Wilson

Esta teoría estudia el origen de las descargas eléctricas en las nubes, considerando el rompimiento de las gotas de una tormenta y, por consiguiente, la separación de su carga eléctrica respectiva debido a la gravedad terrestre y corrientes de aire ascendentes; admite que en la atmósfera existen iones negativos y positivos que se mueven a razón de 1 cm/seg en diversas direcciones, bajo la acción de un campo eléctrico de 1 v/cm, estimando una densidad iónica de 800 aniones/cm y 1,000 cationes/cm.

En el fenómeno de la lluvia las gotas hacen contacto con los iones presentes en el aire, dando origen a que aumente la ionización de la atmósfera que facilita la formación de la trayectoria del canal del rayo para descargarse hacia tierra o nube.

1.2.4 Cristales de Hielo

Explica la importancia que tiene la presencia de los cristales de hielo en las partes superiores de las nubes; el choque de dos cristales permite la disociación de cargas adquiriendo el aire carga positiva y el cristal carga negativa (teoría Robinson y Simpson) .

1.3 Formación y Producción de la Descarga

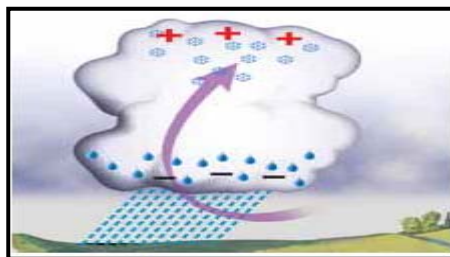
Ya formada la nube tormenta, una nube tormenta comprende, normalmente varios lugares donde la concentración de iones es alta, llamadas células verticales en cuyo interior se desarrolla, independientemente, el ciclo de la generación de las descargas atmosféricas y la disipación de las cargas; la base inferior de ésta y el terreno sobre el que

se encuentra, actúan como las armaduras de un gran condensador, cuyo dieléctrico está constituido por el aire existente entre ambas.

Lo más probable es que la base de la nube sea negativa con lo que se inducirán cargas electrostáticas positivas en el terreno aunque puede darse una probabilidad de 10% que resulte lo contrario.

Un rayo entre una nube y la tierra está constituido por una o varias descargas; ésta se compone a su vez, de un trazo piloto y un trazador.

Figura 1. Nube Cumulonimbus



De la base inferior de la nube en que la concentración de cargas negativas es máxima se abre un camino hacia la tierra, siguiendo una serie de caminos ramificados llamados trazos o trazadores. Estos se propagan intermitentemente con detenciones de 10 a 12×10^{-6} seg. Entre cada dos impulsos y avanzando entre cada uno de los saltos algunas decenas de metros a velocidades del orden de $10,000$ km/seg., estimándose la velocidad promedio entre 100 y 300 km/seg. El trazo piloto sigue su avance creciendo al mismo tiempo la intensidad del campo electrostático inducido en el terreno hasta que, partiendo de éste se eleva una descarga positiva llamada “ trazador “ que va al encuentro del trazo piloto, acompañado de una gran intensidad luminosa y trueno al contacto entre ambos.

La carga que desciende de la nube por el camino de la descarga piloto es compensada por la descarga principal de retorno, la que está formada por una gran corriente de cargas positivas que partiendo del terreno, circulan de abajo hacia arriba siguiendo el camino establecido por el trazador y el trazo piloto. Esta corriente de retorno puede llegar a alcanzar los 200kamps y por su gran intensidad ni puede provenir sino del suelo puesto que la conductividad de las nubes es menor que la de éste y, por consiguiente, no permite una redistribución suficientemente rápida de las cargas.

El resultado es que el centro de carga inicial en la nube toma el potencial de tierra, pudiendo producirse entonces una descarga proveniente de este centro a partir de otro punto de la nube; esta descarga sigue el mismo camino hacia el suelo y da lugar, a su vez, a otra descarga de retorno del suelo hacia la nube, dichas descargas se verifican a intervalos de algunas centésimas de segundo. El rayo que comprende un cierto número de descargas se llama múltiple. El número medio de descargas de un rayo es de 4 a 6 pero se han observado algunos de hasta 40 descargas con una duración de 0.6 segundos. Es imposible medir directamente la diferencia de potencial entre el centro de las cargas más bajas de una nube y la tierra pero se estima que la magnitud promedio está entre 50 y 100 megavoltios sin dejar de pensar que puede alcanzar valores superiores.

Según trabajos de investigadores, la parte central del canal del relámpago mide, aproximadamente, 5 cms. de diámetro y está rodeada de una vaina ligeramente luminosa. El aire ionizado en la parte central del canal está comprimido por las fuerzas magnéticas a una presión de 200 newton/cm², alcanzando temperaturas de hasta 28,000 grados centígrados. La impedancia del canal de descarga se estima en varios millones de ohmios. Como la impedancia del trayecto seguido por la corriente en el suelo

es de algunos cientos de ohmios como máximo se puede, razonablemente, suponer que la intensidad de la corriente del rayo no depende en absoluto del trayecto que sigue esa corriente en el suelo. Los tipos de descarga atmosférica más comunes son las producidas en una o mas células nubosas entre centros de carga negativa más baja y los centros de carga positiva más baja y los centros de carga positivas más alta (relámpago de nube) y las que tienen lugar entre el centro de carga más baja de la nube y la tierra (rayo). En lo que concierne a la protección para edificios o industrias se considera este último cuyo efecto es mucho más severo. De naturaleza diferente son las descargas eléctricas tranquilas que se producen por inducción eléctrica de una nube sobre objetos terrestres terminados en punta y que se observan sobre todo cuando las tormentas han pasado rozando la superficie. En estos objetos aparecen llamitas azules acompañados de un zumbido o chisporroteo debido a la descarga.

1.4 Localización del Rayo

El efecto de la concentración de cargas en un punto de la tierra refuerza el campo eléctrico local y posee tendencia a hacer desviar el trazo piloto hacia dicho punto constituyendo el punto preferencial de descarga. Este es el caso de cualquier estructura conductora proveniente de los pararrayos o de las antenas de T.V. y radio. Por otra parte, estudios realizados por físicos franceses han demostrado que los puntos propicios de caída de rayos son los lugares donde el aire ofrece una conductividad máxima debido a la ionización; estos lugares pueden ser afloramientos de yacimientos metálicos, los cuales, generalmente, contienen compuestos radioactivos; tal es el caso de rocas graníticas, de las arcillas ferrosas y terrenos recorridos por aguas subterráneas. En resumen, se debe tener en cuenta que la ionización

atmosférica cerca del suelo tiene gran importancia para la localización de los puntos de las descargas atmosféricas.

1.5 Tipos de Rayos

En la actualidad se hablan de dos tipos de rayos los rayos positivos y los rayos negativos, pero es importante conocer los demás tipos de rayos que existen, para luego dar paso a los rayos positivos y negativos.

Rayos difusos: se presentan como un resplandor que ilumina el cielo. A causa de ser muy frecuentes en verano, se les denominaba relámpagos de calor. A pesar de ello, se ha comprobado que no es una forma especial del rayo, sino solamente los reflejos en el cielo de una tempestad muy lejana, localizada debajo del horizonte, cuyas chispas eléctricas no se ven y cuyo ruido no se escucha.

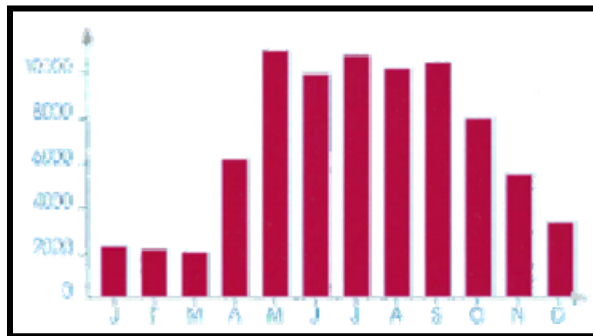
Rayos laminares: son aquellos resplandores que resultan de la descarga dentro de la nube, entre la carga eléctrica positiva y la negativa.

Rayo esferoidal, rayo de bola o rosario: se presenta en forma de esfera luminosa, llegando a alcanzar el tamaño de una pelota de fútbol. En algunas ocasiones aparecen varios de ellos formando como un rosario. Algunas veces desaparecen repentinamente, con un gran estallido y otras se esfuman silenciosamente.

1.5.1 Rayos negativos

Estos rayos son aquellos cuando la descarga se produce desde la nube hacia la tierra, estos son los que comúnmente observamos, estos rayos negativos caen con un porcentaje del 80%, o sea que de cada 10 rayos que observamos 8 son de este tipo.

Figura 2. Rayos negativos



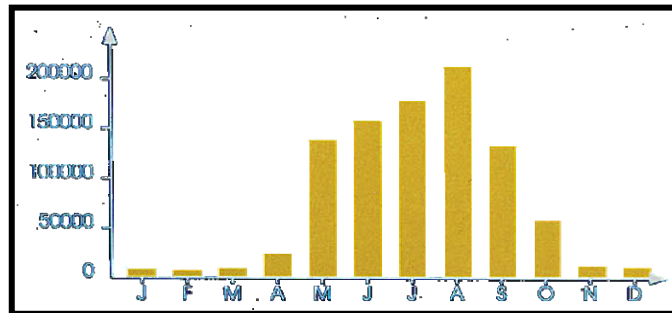
Como se puede observar en la gráfica en Guatemala la temporada donde se producen mas descargas es de Abril a Octubre, llegando a su momento cumbre en Mayo, Julio y Septiembre, además se puede observar que la cantidad es significativa ya que caen mas de 10,000 rayos diarios en estos meses.

1.5.2 Rayos positivos

Estos rayos son aquellos cuando la descarga se produce desde la tierra hacia el cielo, estos son mas raros y los más destructivos, de los cuales debemos cuidarnos ya que estos son los responsables de la mayoría de perdidas monetarias y humanas, en la industria, estos rayos positivos caen

con un porcentaje del 20%, o sea que de cada 10 rayos que observamos 2 son de este tipo.

Figura 3. Rayos positivos



Como se puede observar estos rayos son menos probables que los negativos ya que no todos los meses caen gran cantidad de descargas y a diferencia de la grafica de los rayos negativos el total de los rayos que se observan en los meses del año, son por mes no por día como en la anterior gráfica. Por lo que determinamos que de Mayo a Septiembre son los meses a tener en cuenta para nuestra protección.

1.6 Efectos del rayo

Los efectos principales que causa un RAYO son los siguientes:

- **EFFECTOS TERMICOS:** estos efectos son los que van ligados a la cantidad de descargas de rayos. Para los materiales con gran resistividad al calor, el rayo derrite las partes donde se dio el impacto. En los materiales de poca conductividad, una gran cantidad de energía como esta es expulsada en forma de fuego. Tales efectos pueden causar explosiones.

- EFECTOS DEBIDOS A LAS DIFERENTES RESISTENCIAS: la resistividad de la tierra inhabilita a esta a funcionar como un protector de drenaje por lo que aumenta el potencial de la descarga. Esto crea las diferentes potencias entre las partes de metal que se encuentren en el lugar de la descarga. Por lo que todo equipo que necesite de una conexión a tierra deben de realizarse con mucho cuidado y con el equipo ideal, para un buen aterrizaje de las partes.
- EFECTOS ELECTRODINAMICOS : estos son los causados cuando equipos están cerca del lugar donde la corriente del RAYO viaja, por lo que puede ocasionar saltos de energía ya que estos se atraen.
- EFECTOS ACUSTICOS-EL TRUENO: el trueno se da debido al crecimiento de la presión de 2 a 3 atmósferas en el canal de la descarga. El trueno produce una vibración que lastima los equipos que trabajan con frecuencias.
- EFECTOS INDUCTIVOS: estos efectos son el gran reto de protección de los equipos para la protección de descargas. Cuando el Rayo se aproxima a un sitio y viaja a través de sus conductores, este crea una gran cresta magnética de voltaje que produce altos, y algunas veces destructivos, voltajes inductivos. Debe formarse un circuito electromagnético cerrado entre el conductor del rayo y los circuitos eléctricos. Es por esto que los sistemas de protección deben ser designados cuidadosamente y deben incluir cualquier protección adicional necesaria.

- **EFFECTOS LUMINOSOS:** un rayo crea una imagen en la retina del observador que suele dejarle deslumbrado por severos segundos antes de recobrar la visión.
- **EFFECTOS INDIRECTOS:** Compensación de potencial o paso de voltaje. La dispersión de la corriente del rayo en el suelo, depende de la naturaleza del terreno. Un suelo heterogéneo puede crear peligrosas diferencias de potencial entre dos puntos vecinos.

1.7 Estaciones climatológicas de mayor incidencia

En Guatemala, las estaciones o estación que may hay que tener en cuenta para la protección contra descargas electro atmosféricas comprende entre los meses de Abril a Octubre época donde se producen la mayor cantidad de descargas tanto de rayos positivos como de rayos negativos.

1.8 Principios de la protección

En esta sección observaremos el análisis de los diferentes puntos que hay que saber para poder aplicar la protección optima.

1.8.1 Terminología general

Se dará el significado de cada materia o componente que se utiliza en una instalación.

Abrazaderas

Son los soportes que aseguran el conductor a la estructura o edificio; deben ser mecánicamente fuertes y del mismo material del conductor o de otro material que no cause corrosiones con la humedad.

Barra a tierra

Barra que se entierra y sirve como terminal a tierra. Puede ser barra sólida de cobre mejor si se utiliza la de 5/8 por 8 pies de largo.

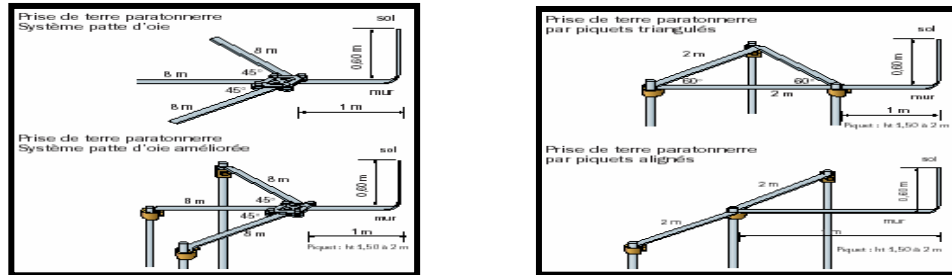
Conductor

Es la parte del sistema de protección diseñado para conducir la descarga entre la terminal de aire y la de tierra. Puede ser un cable de cobre con sección mínima de 50 milímetros cuadrados, cinta de cobre de 30x2 mm. Ó aluminio de sección equivalente. Estos deben de ofrecer la menor impedancia al paso de la corriente de descarga; la trayectoria de enlace entre la terminal de aire y tierra deber ser lo más corta posible sin curva de radios menores de 20 cms.

Circuito a tierra

Es el formado por el suelo, las barras a tierra y el cable que lo interconecta. Sirve como un circuito disipador de la energía de la descarga; su resistencia debe ser siempre inferior a cualquier otra existente en el edificio y debe localizarse lo más vertical al conductor de bajada, el modo mas usual de realizar un circuito de tierras es en forma de delta o también en forma de pata de gallo, la resistencia debe de ser menor a 10 ohmios para un buen funcionamiento del pararrayos.

Figura 4. Tipos de tierras físicas



Estos son modelos de los diferentes tipos de circuitos de tierras que se pueden realizar, para lograr una buena resistencia, estos van a depender del espacio físico que se tenga para realizar el circuito y el tipo de suelo.

1.9 Principio fundamental de la protección

Es proporcionar uno o varios caminos por los cuales una descarga atmosférica puede llegar a la tierra sin pasar por partes del edificio que no sean conductoras, ya que, los daños que puede causar el calor y los esfuerzos mecánicos sobre éstos es severo, mientras que en las partes metálicas son despreciables si su sección es adecuada.

1.10 Requisitos de la protección

La protección se obtiene colocando terminales aéreas de metal en las partes más altas de los edificios o sus protuberancias, con conductores que enlacen las terminales aéreas con las de tierra; así, una adecuada cantidad de puntas de metal bien proporcionadas y distribuidas, dan un grado satisfactorio de protección.

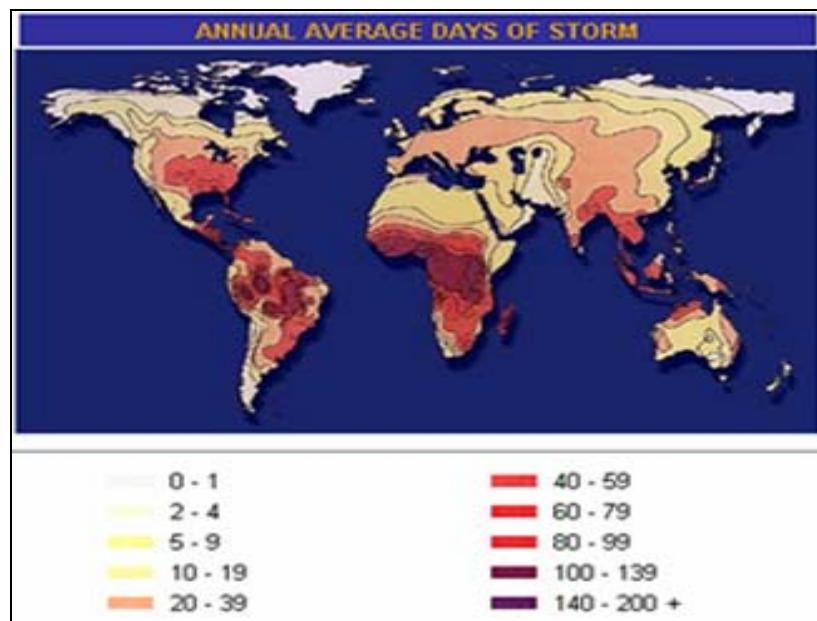
1.11 Elementos que determinan la protección

Es indispensable realizar un estudio previo con el objeto de determinar si es justificable el instalar un sistema de protección y cuál es más adecuado. Dentro de estos factores podemos considerar: el nivel isosceráunico, tipo de edificio, el techo, la estructura, suelo, valor, naturaleza y contenido del edificio, exposición, peligro personal y pérdidas indirectas.

1.11.1 Nivel Isosceráunico

Es el parámetro que nos indica los lugares con igual frecuencia de días de tormentas eléctricas al año. A continuación se muestran los mapas de los niveles isosceráunicos para América y para el territorio de Guatemala.

Figura 5. Nivel isosceráunico



Como se puede observar Guatemala se encuentra entre 60 a 100, días de tormenta, dependiendo del lugar donde se encuentre ya que va a ser

diferente la incidencia de rayo si esta en la ciudad Capital que en la costa pacífica o atlántica.

1.11.2 Tipo de edificio

En este elemento puede entrarse a considerar, para elegir el sistema adecuado de protección contra rayos, los elementos a tomar en cuenta son:

- A. La clase del techo; el cual puede ser conductor o no conductor.
- B. Naturaleza de la estructura: la que puede ser de marco metálico o concreto reforzado a la que debe proveerse terminales aéreas o pararrayos, donde la probabilidad de descarga sea mayor (partes altas).
- C. Valor, naturaleza y contenido del edificio: estos elementos son de peso para la justificación de la aplicación y ver que sistema es el más adecuado para la protección. Un edificio puede ser de madera, acero o concreto, siendo su contenido muy importante para el establecimiento de la protección, pues, donde se almacenan explosivos, combustibles o gases inflamables, estos constituyen un riesgo para todos.

1.11.3 Suelo

La resistencia específica o resistividad del suelo es un elemento vital para el buen funcionamiento de un sistema de protección; ésta depende de la clase de terreno.

En la tabla siguiente se dan algunos datos de las clases de suelos más comunes.

Tabla I. Tipos de suelo y sus resistencias

CLASE DE SUELO	RESISTIVIDAD
Cienogoso	30 ohmios por metro ²
Barroso	100 ohmios por metro ²
Arenoso	200 ohmios por metro ²
Grava Humeda	500 ohmios por metro ²
Grava Seca	1000 ohmios por metro ²
Rocoso	2000 ohmios por metro ²

La resistencia específica de los mismos puede ser mejorada agregándole compuestos químicos, sales minerales y tierra negra.

1.11.4 Exposición a los rayos

Es otro elemento que debe tenerse en consideración para la aplicación del sistema de protección, ya que dependiendo de la ubicación del edificio el riesgo varía; en campos abiertos o lugares montañosos el riesgo es mayor que uno situado en ciudades o valles.

1.11.5 Peligro personal

El peligro a que se exponen las personas que habitan el edificio es otro elemento determinante en la aplicación del sistema de protección, ya que en estructuras poco seguras el riesgo aumenta.

1.11.6 Perdidas indirectas

Son las que se ocasionan con la destrucción del edificio.

2. PRINCIPALES SISTEMAS DE PROTECCIÓN

2.1 Evolución de los pararrayos

Se empezará desde el más sencillo como lo es al punta franklin hasta el mas reciente e ionizante.

2.1.1 Tipo Franklin

El primero fue instalado por Benjamín Franklin en 1760, costa de una simple asta de hierro vertical que termina con una punta conectada a tierra. Este tipo de aparato fue utilizado en Europa y América con modificaciones de poca importancia (punta de platino). Muchos ejemplares están todavía en servicio.

2.1.2 Jaula de Faraday

En 1844 el físico belga Melses plantea proteger los edificios mediante una caja de Faraday compuesta de cintas metálicas y alambres distribuidos en la superficie de la construcción.

2.1.3 Pararrayo ionizante marca Franklin France®

Los pararrayos Ionizantes dentro de los cuales están el radioactivo y los de emisión controlada se originaron de la experiencia del físico húngaro Szillard academia de ciencias 1914 y de las observaciones de M. Dauzere 1930 que constaron que los lugares de caída de descargas son los lugares de mayor ionización fuentes radioactivas, líneas de contacto entre dos suelos

de distinta naturaleza. De él nació la idea de que un pararrayos eficaz podría ser un asta conductora con una punta recubierta de radium; no obstante este procedimiento era muy costoso.

Posteriormente, varias sociedades y empresas especializadas en el ramos de la protección fueron perfeccionando y equipando la idea de Szillard, dentro de las cuales podemos mencionar la sociedad Helita la que creó en 1932 el pararrayos radioactivo con excitador atmosférico, adecuándole posteriormente un acelerador de partículas. En 1962 la empresa española Energía Fría S.A., sacó al mercado su modelo de pararrayos radioactivo el cual mejoro, posteriormente, con el pararrayos seguidor de campo, que evita que la protección ofrecida por el pararrayos no funcione en los tiempos de inversión del campo eléctrico en una tormenta.

Debido al problema de contaminación radioactiva del ambiente los pararrayos radioactivos han quedado prohibidos en muchos lugares, lo que motivo la creación de los pararrayos de emisión controlada dentro de los cuales están los pararrayos Piezoeléctrico Saint Elmo de la Franklin France.

2.2 Sistemas de protección convencionales

2.2.1 Pararrayos punta Franklin

2.2.1.1 Principio

Se basa en el efecto de puntas alta concentración de cargas de éstas y consiste en una barra metálica terminada en punta, colocada en el lugar más elevado del edificio y conectada a tierra mediante un conductor. Como ya es conocido, en las puntas se produce una elevada densidad de cargas

con lo que en ellas, preferentemente, se formará el trazador que saldrá al encuentro del trazo piloto y, por lo tanto, la descarga principal partirá de tierra a través del pararrayos dirigiéndose a la nube, mientras que las descargas secundarias serán conducidas a tierra a través del pararrayos sin causar daño alguno a la estructura protegida.

La zona de protección de este pararrayos se limita al volumen de un cono cuyo radio de la base es igual a la altura.

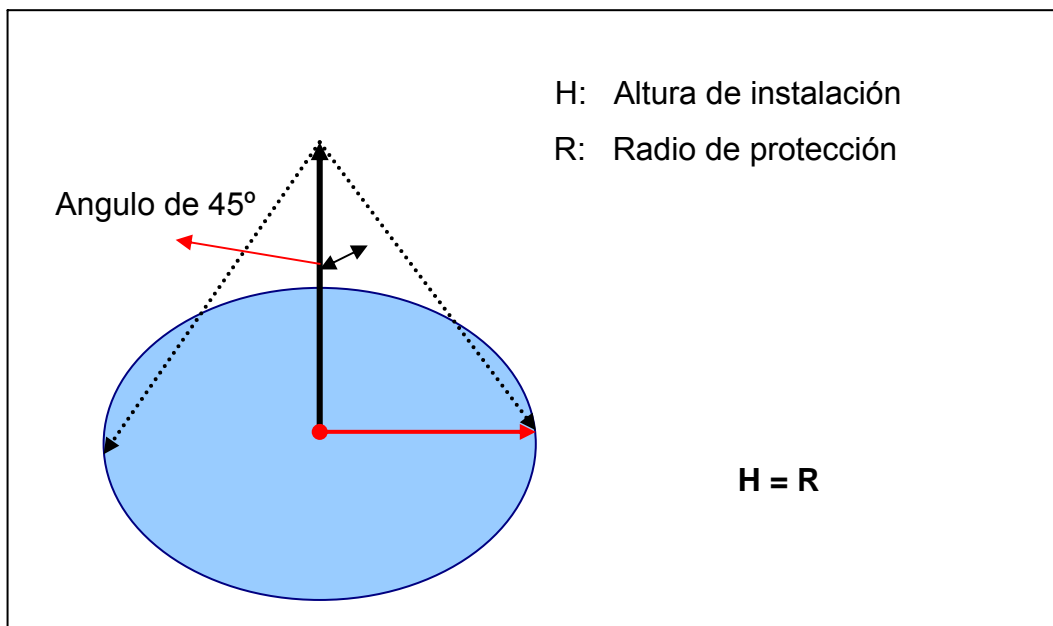
2.2.1.2 Aplicación

Protección de chimeneas, torres de comunicación o edificios de área pequeña.

2.2.1.3 Esquema de aplicación

El diseño de cómo protege o ejerce su radio de protección la punta franklin.

Figura 6. Radio protección Punta Franklin



A. La punta Franklin se situará en puntos dominantes del edificio. Si se emplea mástil de sustentación, éste tendrá una altura entre 2 y 4 metros y la punta Franklin será fijada sólidamente al mismo, con el fin de poder resistir las vibraciones y los esfuerzos mecánicos.

B. El cable o cables de bajada de la punta Franklin deberá ser de cobre desnudo, de un calibre no menor al 1/0 AWG. En determinadas circunstancias, puede emplearse cable de aluminio homogéneo de sección equivalente.

C. El cable o cables de bajada, una vez fijado a la abrazadera de la punta Franklin y con el fin de evitar deterioros por dilataciones o frotamientos, será guiado por grapas o guías cable con aislador de porcelana.

D. Las bajadas del cable de la punta Franklin deberán descender en una línea tan recta como sea posible.

E. A su entrada en el suelo, el cable se introducirá perpendicularmente hasta una profundidad no inferior a 80 centímetros a partir de esa profundidad podrá realizarse el ángulo necesario para dirigirse a la toma de tierra.

F. Para asegurar la protección mecánica del cable en la base de la instalación, este deberá ser protegido por un tubo o canal, debiendo evitarse en caso de ser material magnético, que se cierre alrededor del mismo.

G. El cable descendente deberá ser fijado soldado a la toma de tierra, de manera que la unión presente mínima resistencia eléctrica y máxima resistencia mecánica.

H. La toma de tierra del pararrayos Franklin se realizará, preferentemente, mediante picas de cobre con alma de acero o placas de cobre.

I. Las picas, de longitud no inferior a 2 mts. y diámetro de 14mm. serán instaladas a una profundidad no menor de 1 mt. y separados entre sí una distancia no menor de 4 mts. siendo conectadas por cable de cobre de la misma sección que la bajada de la punta Franklin, teniendo en zanja de profundidad no inferior a 80 cms.

J. El tapado de los pozos y zanjas se realizará, preferentemente, con la misma tierra extraída cuando posea buena conductividad. En casos particulares de terrenos de baja conductividad eléctrica, el relleno se debe realizar con tierra vegetal y en casos extremos complementado con sales minerales, carbón vegetal, etc.

K. Es aconsejable unificar todas las tomas de tierra existentes en la zona a proteger, con el fin de tener un dispensor único, tanto para las altas como las bajas tensiones. La toma de tierra del pararrayos Franklin será conectada a éste dispensor. El valor de la resistencia de la toma de tierra no deberá ser superior a 10 ohmios.

L. En el caso de que con la instalación proyectada originalmente para la toma de tierra no alcance el valor indicado en el inciso anterior, la citada toma de tierra deberá ser ampliada, según los casos hasta conseguir el valor mencionado. Para ello, deberán hacerse las correspondientes medidas de resistividad del terreno y estudiar la conveniencia de la utilización de productos químicos que mejor de toma de tierra.

2.2.1.5 Ventajas

Es el sistema más sencillo y más económico cuando se trata de proteger áreas pequeñas, debido al bajo costo de los materiales que se utilizan para la instalación.

2.2.1.6 Desventajas

Debido a que su zona de protección es pequeña, se hace necesario instalar un gran número de puntas para proteger las edificaciones, trayendo consigo instalaciones muy costosas y un deterioro en la estética de las mismas. A parte de la desventaja económica, a mi parecer la desventaja principal es que no protege contra los rayos de tierra a nube, que son los más destructivos.

2.2.2 Jaula de Faraday

Este era el sistema más utilizado en las azoteas de los edificios antes de la llegada del pararrayos ionizante, a continuación su funcionamiento.

2.2.2.1 Principio

Es un sistema de protección muy eficaz; su base es la eliminación de cargas eléctricas en el interior de la jaula, independientemente de la carga externa existente; su objetivo es crear un cuerpo conductor en la cual toda la carga se encuentra en su superficie. Este sistema fue ideado por el físico belga Melsens en 1884 y consiste en una caja de faraday compuesta de alambres y cintas metálicas bien distribuidas lo más junto posible en la superficie de la construcción a proteger, conectados entre sí y provistos en sus extremos superiores de pequeñas puntas y en su parte inferior por tomas

de tierra. La eficacia de este sistema es buena si la malla está bien unida y apretada.

2.2.2.2 Normas de instalación

A. Las terminales aéreas se instalarán en todas las partes estructurales expuestas a recibir y ser dañadas por una descarga.

B. En las proyecciones metálicas las terminales se colocan encima de ellas a una altura de 0.6 metros.

C. En techos con pendientes suaves menores del 12%, cumbreras, cornisas y orillas de terraza las terminales aéreas menores de 0.6 metros, se colocarán a intervalos máximos de 6 metros y si son terminales de 0.6 metros o más grandes a intervalos máximos de 7.5 metros y deberán colocarse a 0.6 metros de las esquinas.

D. En techos planos o de pendiente suave, mayores de 15 metros, de ancho, se colocarán terminales adicionales que no excedan intervalos de 15 metros; y si su recorrido es mayor de 45 metros deben de conectarse al perímetro principal o hacer una bajada a tierra.

E. Los conductores se colocarán sobre el techo bajando en las esquinas y lados del edificio de manera que constituya el camino más corto; los conductores del techo se llevarán a lo largo del contorno como cumbreras y esquinas y donde sea necesario en superficies planas, los cuales deber ser conectados en anillos, de tal manera que cada terminal esté unida a todo el resto.

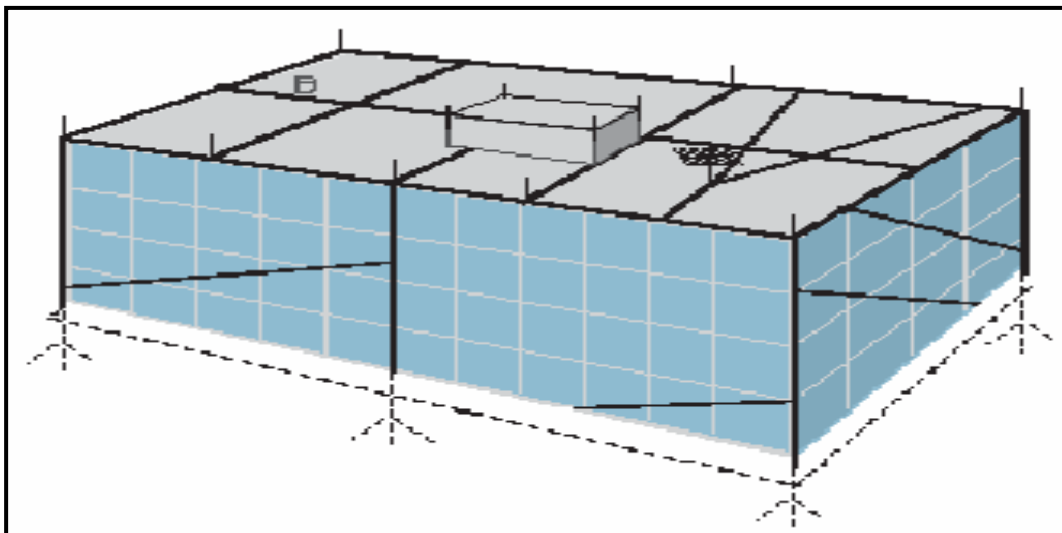
F. Los conductores de bajada se llevarán sobre porciones exteriores del edificio como las esquinas o lugares convenientes para la conexión de las terminales aéreas o de tierra. En estructuras que exceden de 75 metros de perímetro, debe colocarse una bajada adicional por cada 30 metros de perímetro adicional y el número total de bajadas debe ser tal que el promedio de la distancia entre bajadas no exceda de 30 metros.

G. Deben colocarse conductores de enlace entre las terminales y la bajada, llamados finales, los cuales no deben exceder de 5 metros.

2.2.2.3 Esquema de instalación

Este es el diseño de instalación de un sistema de protección basado en la Jaula de Faraday.

Figura 7. Esquema de instalación Jaula de Faraday



2.2.2.4 Ventajas

Es un sistema muy eficaz por unido de su malla de conductores, contra los rayos que caen, o sea los de nube – tierra.

2.2.2.5 Desventajas

Este sistema es muy oneroso, difícil de instalar, no funciona contra los dos tipos de rayos que existen, la colocación posterior de algún sistema de aire acondicionado, torre de comunicación o antena, o cualquier objeto que sobrepase la altura de las puntas el sistema se rompe y es obsoleto, y para obtener una buena eficiencia, las mallas deben ser lo suficientemente apretadas lo que ocasiona problemas en superficies irregulares y por último es poco estético.

2.3 Pararrayos ionizante Franklin France®

2.3.1 Principio

Un pararrayos de asta que debe su eficacia a la modificación, a su nivel, de los equipotenciales que envuelven las estructuras del edificio que protege. El principio del pararrayos piezoeléctrico diseñado por **Franklin France** se basa en varios factores: el refuerzo del campo eléctrico local, las cualidades de cebado y de inicio del efecto corona y las condiciones favorables para el desarrollo del efluvio.

2.3.2 Descripción

El pararrayos SAINT ELME® está constituido de:

Una cabeza captadora

Perfilada, inalterable y buena conductora, estructurada para engendrar una circulación de aire forzada en su extremo y en su prolongación sistema VENTURI : tomas de aire y eyectores periféricos.

Un asta de soporte

De cobre tratado o de acero inoxidable según las versiones, cuya parte superior incluye una o varias puntas emisoras de iones de acero inoxidable, insertadas en un manguito aislante y sometidas al potencial flotante. Están protegidas contra los impactos directos del rayo y de la intemperie mediante la cabeza captadora que, de igual manera que el asta, está permanentemente conectada al potencial de tierra.

Un transductor (estimulador piezoeléctrico)

Incorporado en la parte inferior del asta y formado de cerámicas piezoeléctricas encerradas en un cráter aislante, asociadas a un sistema solicitador simple y perfectamente fiable patentes CEA y FRANKLIN. Un cable de alta tensión, que corre por el interior del asta, y conecta el estimulador a la punta emisora.

Figura 8. Pararrayos Saint Elme marca Franklin France®



2.3.3 Funcionamiento

Se da a través de la estimulación piezoeléctrica que es el principio del pararrayos Saint Elme que consiste en aumentar el número de cargas libres partículas ionizadas y electrones en el aire cercano del pararrayos y crear, en presencia de un campo eléctrico nube-suelo, un canal de fuerte conductividad relativa constituyendo un camino preferencial para el rayo.

La creación de cargas libres se hace por efecto corona aplicando sobre la (las) punta(s) del pararrayos Saint Elme® la tensión proporcionada por las células en cerámica piezo-eléctrica zircotitanato de plomo cual propiedad es de producir una tensión muy elevada por un simple cambio en la presión aplicada. El pararrayos Saint Elme® esta equipado de un dispositivo mecánico que permite convertir el esfuerzo resultado de la acción del viento sobre el pararrayos en esfuerzo de presión sobre las células piezo-eléctricas.

La tensión así proporcionada esta aplicada, a través del cable de alta tensión que corre por el interior del asta, sobre la punta ionizante para crear, por efecto corona, cargas libres estas cargas están después expulsadas, por

efecto venturi, de la cabeza perfilada del pararrayos (circulación forzada del aire). Cuando están al exterior de la cabeza, estas cargas están sometidas al campo eléctrico nube – suelo. Las cargas que tienen el mismo signo que la nube están empujadas hacia la tierra, el camino que se forma en el prolongamiento del pararrayos esta entonces exclusivamente constituida de cargas opuestas a las de la nube.

El funcionamiento de este pararrayo también se basa en la reducción del tiempo de cebado del efecto corona que consiste en aumentar artificialmente la densidad iónica del aire cercano a un electrodo favoreciendo así la disminución del potencial disruptivo, por lo tanto va a favorecer:

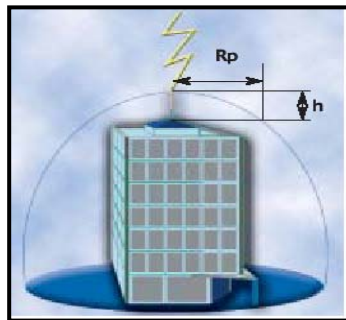
- A -. El aumento del campo eléctrico local.
- B -. La presencia de un electrón germen en la punta captadora electrón escaso en la atmósfera e indispensable en el proceso de cebado.
- C -. La creación de un canal de aire ionizado ascendente en la prolongación del pararrayos; se intervendrá favorablemente sobre la disminución del retraso al cebado, las condiciones iniciales de enganche del efecto corona y velocidad ascensional.

2.3.4 Esquema de protección

Estos ofrecen una captura preferencial ya que el hecho de favorecer cebados a valores menores que el campo electrostático por lo tanto, antes, refuerza la probabilidad de captura de los pararrayos. Esta facultad les confiere una eficacia mayor con captadores preferenciales que asumen con relación a cualquier otro punto de los edificios que protegen. Por consiguiente, estos pararrayos ofrecen mayores garantías durante las

descargas de poca intensidad (2 a 5 KA) frente a pararrayos de asta que solo interceptan los rayos a corta distancia.

Figura 9. Tipo de Protección



La captura preferencia va a favorecer a una zona de protección mayor las zonas de protección de los pararrayos se obtienen teóricamente mediante el trazado del modelo electromagnético, pero prácticamente asimiladas para las alturas menores, a un cono de revolución cuya cúspide es el extremo del pararrayos.

La norma NCF 17 100 define el método de cálculo que se aplica a los pararrayos Franklin y las jaulas de Faraday.

La norma NFC 17 102 concierne los pararrayos con dispositivo de cebado PDA y toma en cuenta los niveles de protección N_p , de mayor a menor gravedad (I a III), que se deben determinar previamente mediante una evaluación del riesgo de rayo de la cual debe ser objeto cada proyecto.

Define sus reglas de instalación y los radios de protección R_p (m) según el avance medio del cebado ΔL y la distancia de cebado D (m), que se considera de manera diferente según el grado de gravedad:

$$D(I) = 20m \quad D(II) = 45m \quad D(III) = 60m$$

El cuadro o tabla que aparece a continuación presente los valores de Rp (m) para los tres niveles de protección Np según la altura h (m) real del pararrayos con relación a los diferentes planos considerados.

Tabla II. Radios de protección

Rp (m)		SE6 Δ L = 15 m			SE9 Δ L = 30m			SE12 Δ L = 45 m			SE15 Δ L = 60 m		
h(m)	Np	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2		13	18	20	19	25	28	25	32	36	31	39	43
4		25	36	41	38	51	57	51	65	72	63	78	85
6		32	46	52	48	64	72	63	81	90	79	97	107
8		33	47	54	49	65	73	64	82	91	79	98	108
10		34	49	56	49	66	75	64	83	92	79	99	109
20		35	55	63	50	71	81	65	86	97	80	102	113
30		35	58	69	50	73	85	65	89	101	80	104	116
60		35	60	75	50	75	90	65	90	105	80	105	120

2.3.5 Tipos

Existen 4 modelos de este pararrayos SAINT ELME 6 o el SE6, que sus radios de protección van desde 13 metros de radio en el nivel 1 de protección que es el de mayor cuidado hasta 75 metros de radio en el nivel 3 que es el de menos precaución. Está el SAINT ELME 9 o el SE9, que sus radios de protección van desde 19 metros en nivel 1 hasta 90 metros en el nivel 3, está también el SAINT ELME 12 o el SE12, que sus radios van desde 25 a 105 metros según el nivel de protección. Y por último tenemos el SAINT ELME 15 o SE15 que es el que mayor radio de protección brinda sus radios de protección van desde 31 metros en el nivel 1 de protección hasta 120 metros de radio en el nivel 3 de protección.

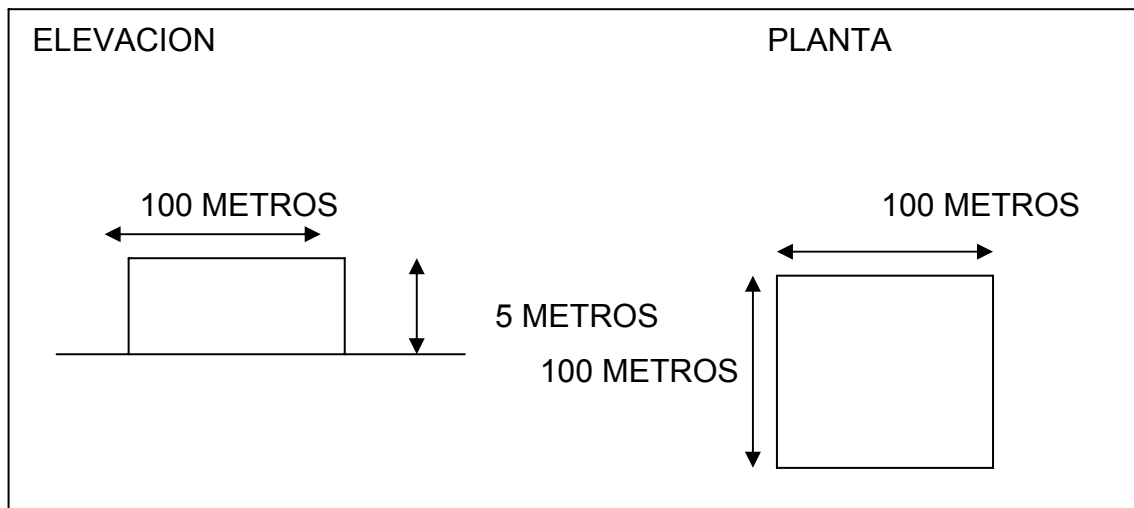
3. COMPARACIONES ENTRE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONVENCIONALES E IONIZANTES

3.1 Ejemplo modelo

Con el objeto de efectuar una comparación entre los sistemas se tomará un edificio con iguales características para poder así realizar un estudio o una comparación sobre el tipo de protección que será el mas viable tanto económicamente como en aspectos de seguridad y arquitectónicos.

Altura: 5 metros; techo de losa plana de concreto; longitudes perimetrales de 100 metros.

Figura 10. Edificio modelo



3.1.1 Pararrayos tipo Punta Franklin

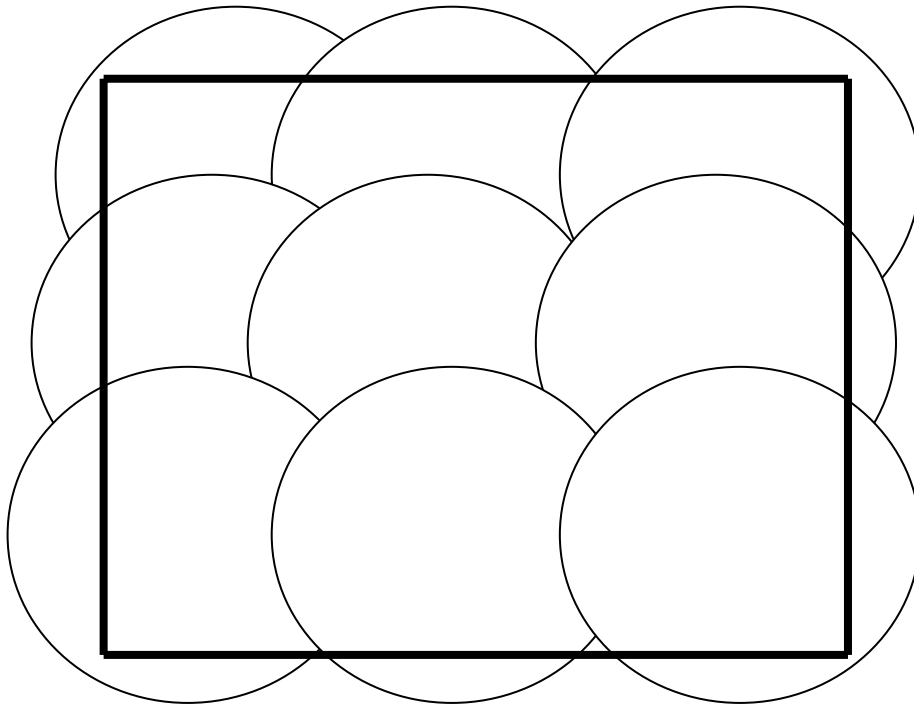
Se hará el estudio con este sistema de protección, los pasos a seguir son los siguientes:

3.1.1.1 Diseño

Su esquema de protección es un cono en el cual el radio de la base es igual a la altura de instalación del pararrayos, si los mástiles disponibles por los fabricantes van desde 4 metros de altura hasta 30 metros de altura.

El diseño para cubrir el edificio propuesto es el siguiente:

Figura 11. Protección punta Franklin



3.1.1.2 Materiales a utilizar en el diseño

A continuación los materiales utilizados en la instalación de este sistema.

- A. 9 puntas Franklin de cobre de \varnothing 1/2" marca Harger no. 689 con un valor de Q. 150.00 cada una para un total de Q. 1,350.00.
- B. 9 columnas de 30 m de altura a Q.3,500.00 c/u total de Q. 31,500.00.

- C. 9 varillas de cobre de \varnothing 5/8" x 8' con mordaza de bronce marca Harger a Q.48.00 cada una para un total de Q. 432.00
- D. 90 guías para cable Harger 584 a Q.20.00 c/u para un total de Q.1,800.00.
- E. 324 metros de cable extraflexible marca Harger A24 a Q.55.00 el metro para un total de Q. 17,820.00.
- F. 9 protectores para cable a Q. 75.00 c/u para un total de Q. 675.00.
- G. 9 conectores para cable Harger 604 a Q. 70.00 c/u da un total Q.630.00.

3.1.1.3 Valor aproximado de materiales para el diseño : Q. 54,207.00

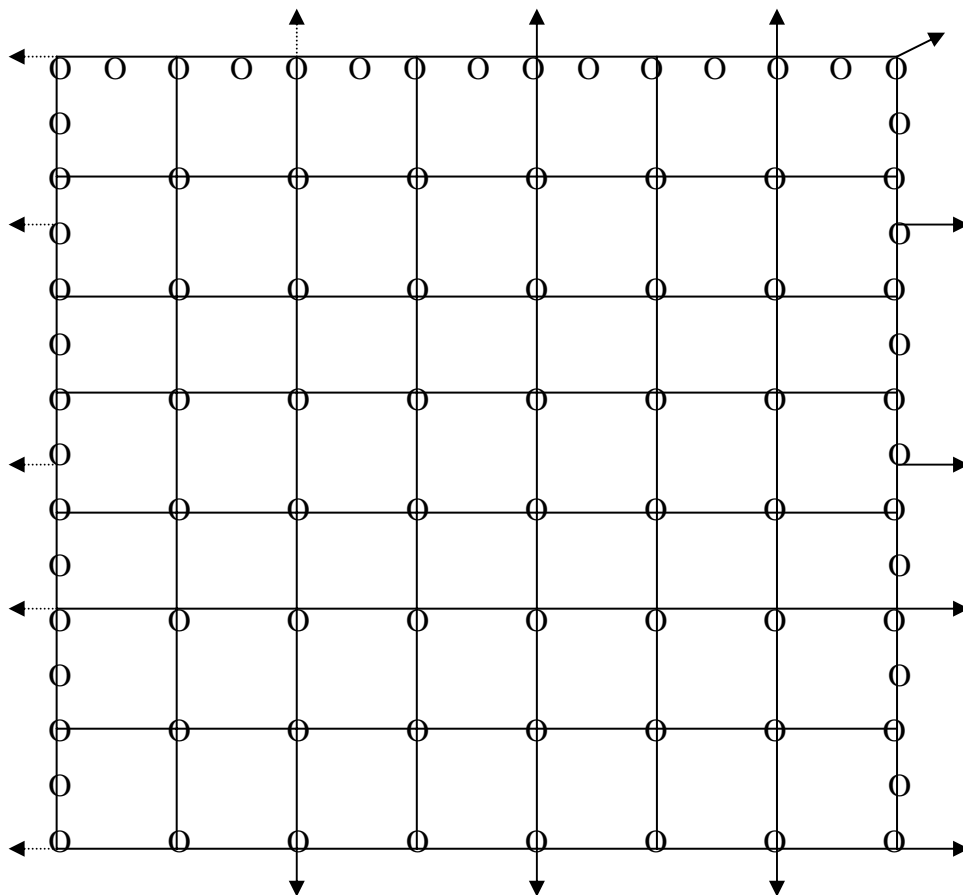
3.1.2 Jaula de Faraday

A continuación los materiales utilizados en la instalación de este sistema.

3.1.2.1 Diseño

Siguiendo las normas de instalación presentadas en la sección “ Normas de instalación para la Jaula de Faraday”, el esquema para la protección del edificio es el siguiente:

Figura 12. Esquema de protección Jaula de Faraday



3.1.2.2 Materiales a utilizar en el diseño

- A. 92 puntas de cobre de 3/8" x 24" marca Harger no. 573 a Q. 60.00 cada uno para un precio total de Q. 5,520.00
- B. 40 bases para punta de pararrayos Harger no. 688c a Q. 50.00 cada uno para un precio total de Q. 2,000.00
- C. 52 bases para punta de pararrayos Harger no. 611 a Q. 50.00 cada uno para un precio total de Q. 2,600.00
- D. 604 abrazaderas para cable Harger Q. 2.00 c/u da un total Q. 1,208.00
- E. 32 conectores tipo T marca Harger no. 706 Q. 50.00 cada uno para un precio total de Q. 1,600.00
- F. 16 varillas de cobre de 5/8 por 8 pies de largo con mordaza de bronce marca Harger no. a Q. 48.00 cada una para un total de Q. 768.00
- G. 1728 metros de cable extraflexible Century 29X a Q. 20.00 el metro para un total de Q. 34,560.00
- H. 48 abrazaderas para cable Harger no. 166xx a Q. 4.00 cada abrazadera para un total de Q. 192.00
- I. 840 tarugos de fijación Harger no. 208N a Q. 1.00 c/u para Q.840.00
- J. 16 protectores de cable Harger 242xM c/tornillos a Q.80.00 cada uno para un total de Q. 1,280.00

3.1.2.3 Valor aproximado de materiales para el diseño: Q. 50,568.00

3.1.3 Pararrayos ionizante marca Franklin France®

Como se presentó anteriormente su esquema de protección es un cono con una altura incrementada por el efecto ionizante, su radio de protección depende de la altura de instalación y el tipo, por lo que se presentan varias soluciones.

Existen varios modelos de pararrayos ionizantes Saint Elme, los cuales son:

SE – 6 a una altura de instalación de 5m sobre el techo su R = 50m.

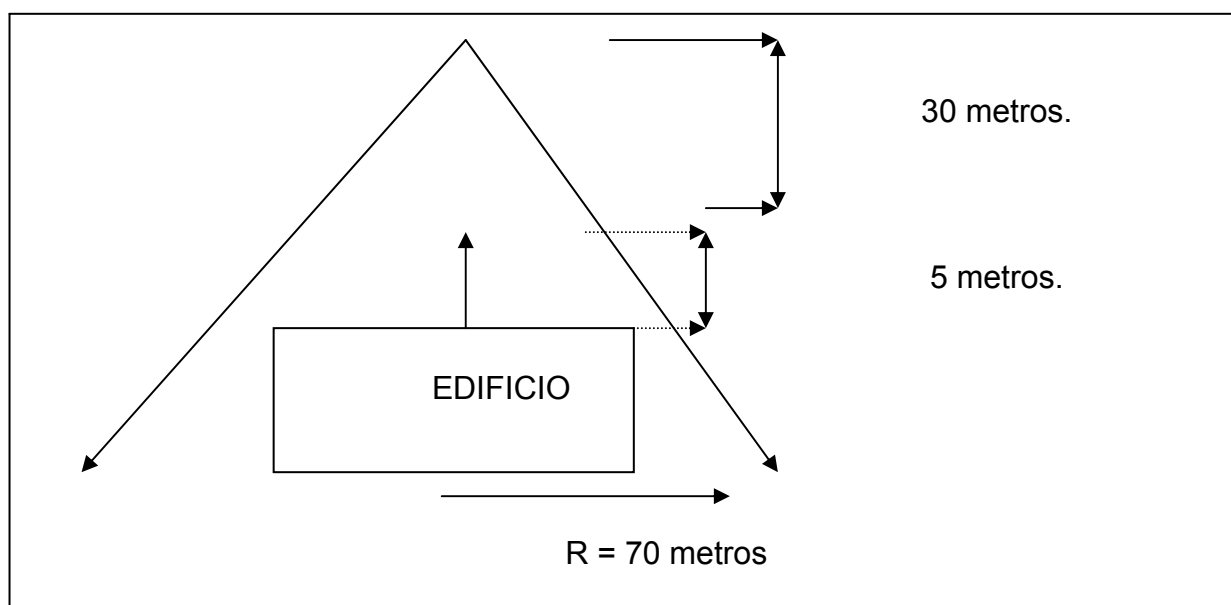
SE – 9 a una altura de instalación de 5m sobre el techo su R = 70m.

SE – 15 a una altura de instalación de 5m sobre el techo su R = 100m.

3.1.3.1 Diseño

Se utilizara el modelo SE – 9 por su radio de protección y comodidad de precio, el modelo de protección queda de la siguiente manera:

Figura 13. Esquema de protección pararrayos Saint - Elme



3.1.3.2 Materiales a utilizar en el diseño

- A. 1 unidad SE – 9 con un precio unitario de Q. 14,000.00
- B. 1 mástil de elevación de 5 metros con un valor de Q. 800.00
- C. 70 metros de cable marca Harger de baja impedancia a un valor unitario del metro de Q.50.00 para un total de Q. 3,500.00
- D. 3 varillas de cobre de 5/8” por 8’ con mordaza de bronce a un valor unitario de Q.50.00 para un total de Q.150.00
- E. 6 qq de bentonita con un valor de Q.25.00 c/u para un total de Q.150.00
- F. 3 qq de carbón a un valor de Q. 10.00 cada uno para total de Q.30.00
- G. 1 protector de cable Harger 242xM a Q.100.00 cada uno.
- H. 1 junta bí-metálica para unir cable de pararrayos con las tierras físicas con un valor unitario de Q. 110.00
- I. 15 metros de cable THN 1/0 a un valor unitario por metro de Q.20.00 para un total de Q. 300.00
- J. 30 metros de cable THN # 2 a un valor unitario por metro de Q. 15.00 para un total de Q. 450.00
- K. 25 tarugos con tornillos de fijación galvanizados a un valor unitario de Q. 2.00 para un total de Q. 50.00

3.1.3.3 Valor aproximado de materiales para el diseño Q. 19,640.00

3.1.4 Cuadro resumen

Se puede observar cada una de las diferencias en relación a los sistemas vistos.

Tabla III. Cuadro de comparaciones

Sistema	No. de Unidades	No. de Bajadas	Costo
Punta Franklin	9	9	Q. 54,207.00
Jaula de Faraday	92	16	Q. 50,568.00
Saint Elme 9	1	1	Q. 19,640.00

3.2 Comparaciones Técnicas

- A. Los sistemas convencionales utilizan mayor número de terminales aéreas para cubrir la misma área con relación a los sistemas ionizantes; como se muestra en el cuadro resumen.
- B. Los sistemas convencionales utilizan mayor número de bajadas a tierra, lo que implica más terminales de tierra y conductores de enlace.
- C. Los sistemas convencionales poseen mayor número de accesorios de instalación, lo que conlleva más trabajo de instalación.
- D. En techos irregulares los sistemas convencionales Jaula de Faraday es dificultosa su instalación por el mayor número de accesorios que necesita.
- E. El mantenimiento de los sistemas ionizantes es más fácil debido a el menor número de accesorios.

3.3 Comparaciones arquitectónicas

- A. Los sistemas convencionales afectan en mayor grado la arquitectura de los edificios por el mayor número de accesorios que utilizan para cubrir un área dada.
- B. Los sistemas convencionales distorsionan la presentación de los edificios debido al contacto directo con los mismos (Jaula de Faraday) cuyas terminales tienen que colocarse sobre las partes superiores de éstos, mientras que los ionizantes pueden colocarse sobre mástiles en un lugar que no sea el edificio.

3.4 Comparaciones económicas

Según se muestra en el cuadro de resumen el sistema más lucrativo es el de Puntas Franklin, seguido por la Jaula de Faraday y por último el Ionizante Saint Elme 9.

Con el objeto de establecer una comparación para el presente caso en la cual se muestra el número de unidades equivalentes en precio de los sistemas convencionales con el ionizante, se procederá a dividir el número de unidades entre el valor total del diseño del ejemplo.

Cálculos

A. Sistema Franklin

$$\frac{\text{Costo}}{\# \text{ De Unidades}} = \frac{54,207.00}{9} = \text{Q. } 6,023.00$$

Costo por unidad de Q. 6,023.00

B. Sistema Jaula de Faraday

$$\frac{\text{Costo}}{\# \text{ De Unidades}} = \frac{50,568.00}{92} = \text{Q. } 549.70$$

Costo por unidad de Q. 549.70

C. Sistema Ionizante

Costo por unidad de Q. 19,640.00

Se tomará como referencia el valor del Sistema ionizante para establecer el número de unidades que hacen la equivalencia en precio.

$$\text{Se procederá así: } \frac{\text{Precio Ionizante por unidad}}{\text{Precio Sistema Convencional por unidad}}$$

$$\text{Punta Franklin} = \frac{\text{Q. } 19,640.00}{\text{Q. } 6,023.00} = 3.26 \text{ unidades}$$

$$\text{Jaula de Faraday} = \frac{\text{Q. } 19,640.00}{\text{Q. } 549.70} = 35.72 \text{ unidades}$$

3.5 Comparación por área de protección

Tomando en cuenta el número de unidades que se utilizan para cubrir la misma área que se muestran en el cuadro resumen se nota con facilidad que el Sistema de Protección más funcional por su radio de protección es el Ionizante Saint Elme 9.

4. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTROATMOSFÉRICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE FRANKLIN FRANCE®

4.1 Presentación de la empresa donde se hará el estudio de la aplicación del sistema

La empresa en la cuál se realizara la aplicación del sistema de protección electro atmosférico lleva de nombre COMELEC está empresa fue fundada en 1992 y en ese entonces se dedicaba a las instalaciones eléctricas, posteriormente se fue abriendo mercado en el ramo de la protección contra rayos hasta convertirse en lo que es actualmente la empresa número uno en Guatemala en el suministro e instalación de Sistemas de protección contra rayos, tanto en los pararrayos ionizantes marca Franklin France, como en Sistemas de tierras físicas y aterrizaje, y ultimadamente en la protección contra sobre tensiones. En la actualidad ha instalado mas de 300 pararrayos a nivel nacional y mas de 25 pararrayos en toda Centro América, sus instalaciones cuentan con el respaldo de la casa matriz en Francia, así como con el respaldo de las normas ISO 9000 en los materiales e instalaciones, por estas y muchas razones se puede decir que esta empresa es la líder en sistema de pararrayos, motivo por el cuál me abrió las puertas para realizar dicha aplicación.

4.2 Situación antes de la aplicación

La empresa como comentaba en la sección anterior se dedicaba a las instalaciones eléctricas en su comienzo y no contaban con mayor protección, pues al principio era una oficina con bodega, contra rayos o sobre tensiones pues en el pasado no se tomaba mayor consideración en este tipo

de protecciones, debido a las instalaciones eléctricas que se llevaban a cabo guardaban en la parte de la bodega mucho inventario de materiales eléctricos tales como transformadores, paneles eléctricos, paneles de control, equipos de iluminación, etc. y la mayoría de este inventario era puesto a prueba antes de las instalaciones o suministros, para garantizar su buen funcionamiento, hasta que en un día de invierno, Julio de 1993 para ser más exactos, sufrió una descarga de rayo en el transformador instalado por la empresa eléctrica de Guatemala frente a la oficina cuando algunos de los equipos de mayor valor se encontraban a prueba lo cuál proporciono grandes perdidas en equipo eléctrico, así como un impacto directo en el techo de la bodega, movido por esta gran perdida monetaria el propietario de la misma decidió adentrarse en el campo de la protección contra rayos llevándolo hasta donde se encuentra 13 años después. Para poner a prueba el funcionamiento de el sistema encontrado que era el sistema de protección contra rayos ofrecido por la empresa Franklin France realizo la primera instalación en su compañía con los datos proporcionados por la misma empresa francesa.

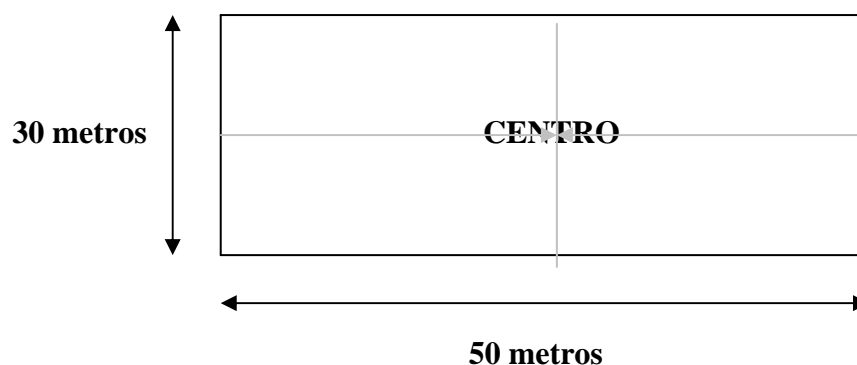
El estudio que se realizó y que se debe realizar para poder llevar a cabo una instalación es el siguiente o cuenta con los siguientes pasos:

- Densidad de rayo
- Configuración del sitio
- Distribución
- Proximidad de un pararrayos
- Historia de problemas por rayos en años anteriores
- Sensibilidad de los equipos
- Costo y consecuencia de la indisponibilidad de los equipos

4.3 Situación durante la aplicación

Durante la aplicación del sistema los primeros pasos a seguir fueron resolver los ítems planteados al final del inciso anterior. Sobre la densidad de se sabe que la empresa está ubicada en Ciudad de Guatemala por lo que su densidad de rayo según la gráfica es de 60 rayos por día, por lo que la incógnita sobre este ítem estaba resuelta. En el ítem dos se resolvió el asunto sobre la configuración del sitio que es ver lo que contiene la empresa dentro de ella se observo que cuenta con área de oficinas y bodega. En el tres se vio la distribución del lugar y lo importante a proteger era el área de bodega que consistía en un rectángulo de 30 x 50 en una forma o techo de dos aguas teniendo una altura máxima al centro de 7 metros y en su parte mas baja o sea los costados 4:5 metros de alto . La proximidad de un pararrayos fue el siguiente paso a seguir por lo que se observo que no existía ningún tipo de protección cerca del lugar a proteger. El problema que llevo a está empresa a dedicarse a las instalaciones de este tipo de protecciones contra rayos resuelve el ítem número cinco al número siete. Después de determinar la resolución de estos ítems y observar que se necesitaba la instalación de un sistema de protección contra rayos del tipo ionizante marca Franklin France®, basándose en todos los datos para realizar la instalación determino lo siguiente:

Figura 14. Areá a proteger



Con el área vista de lo que se necesitaba cubrir se pasó a determinar el tipo de pararrayos que debía utilizarse y teniendo la tabla de los radios de protección se llegó a la conclusión que el pararrayos a utilizarse sería el Saint Elme 6 en un nivel 2 de protección lo que nos da a 7 metros de altura un radio de protección de 40 metros, por lo que colocándolo al centro de la bodega está queda más que cubierta por el sistema contra rayos.

Los materiales que se utilizaron para la instalación con sus respectivos costos de hace 11 años fueron los siguientes:

- 1 unidad SE – 6 con un precio unitario de Q. 7,000.00
- 1 mástil de elevación de 3 metros con un valor de Q. 500.00
- 30 metros de cable marca Harger de baja impedancia a un valor unitario del metro de Q.30.00 para un total de Q. 900.00
- 3 varillas de cobre de 5/8” por 8’ con mordaza de bronce a un valor unitario de Q.15.00 para un total de Q.45.00
- 9 qq de bentonita con un valor Q.10.00 c/u para un total de Q.90.00
- 6 qq de carbón a un valor unitario de Q. 3.00 c/u para total de Q.18.00
- 1 protector de cable Harger 242xM a Q.60.00 cada uno.
- 1 perno partido para unir cable de pararrayos con las tierras físicas con un valor unitario de Q. 40.00

- 15 metros de cable THN 1/0 a un valor unitario por metro de Q.10.00 para un total de Q. 150.00
- 40 metros de cable THN # 2 a un valor unitario por metro de Q. 5.00 para un total de Q. 200.00
- 15 tarugos con tornillos de fijación galvanizados a un valor unitario de Q. 0.50 para un total de Q. 7.50

Valor aproximado de materiales para el diseño Q. 9,010.50

Habiendo realizado la instalación del sistema con el estudio, diseño y materiales que se necesitaron para la instalación nos damos cuenta que el gasto fue bastante elevado para ese entonces pero los beneficios que se consiguieron después de la instalación de este sistema fueron muy productivos.

4.4 Situación después de la instalación

Después de haber aplicado este sistema siguiendo los pasos correctos para su instalación la situación en cuanto a pérdidas monetarias ocasionadas por los fenómenos electro atmosféricos cambio drásticamente ya que antes de la aplicación de este sistema se debía de apagar o desconectar los equipos que se encontrarán trabajando en ese momento por temor a tener otra pérdida igual o mayor a la anterior por lo que se perdía mucho tiempo valioso en tiempo hora maquina así como hora hombre por lo que este

tiempo representaba dinero para la compañía y después de aplicar este sistema se pudo y se puede hasta la fecha trabajar con mayor tranquilidad y seguridad tanto para el hombre como para la maquina, todo esto mediante la aplicación de la instalación del sistema de protección electro atmosférico tipo pararrayo ionizante marca Franklin France®.

5. BENEFICIOS DE APLICAR UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTROATMOSFÉRICO TIPO PARARRAYO IONIZANTE FRANKLIN FRANCE®

5.1 Ahorro monetario en comparación con los otros dos sistemas

Unos de los beneficios de aplicar este sistema ionizante sobre los otros dos sistemas de protección que existen y que siempre va a ser determinante a la hora de tomar una decisión va a ser el ahorro monetario, por lo que compararemos el beneficio monetario que uno gana al utilizar este sistema tanto en la instalación como en el mantenimiento, la instalación y protección para el trabajador y la empresa.

5.1.1 En la instalación:

El ahorro monetario en la instalación según observamos en el ejemplo modelo se puede observar que existe una gran diferencia en lo que se refiere a una instalación de sistemas de protección contra rayos para la protección de un mismo lugar con los diferentes sistemas, ya que el sistema de protección ionizante tiene mayor área de protección, por lo que no cabe duda que el sistema a elegir para seguir un beneficio del tipo monetario es el sistema ionizante del pararrayos Saint Elme, ya que este conlleva menos gastos que los otros dos sistemas puesto que utiliza menor número de accesorios de instalación, siguiéndole el de Puntas Franklin y por último el de la Jaula de Faraday.

5.1.2 En el mantenimiento:

Otro beneficio monetario que es importante analizar es el mantenimiento debido a que las industrias en nuestros tiempos gastan una

cantidad enorme de dinero en el mantenimiento de su maquinaria que les permite a ellos ganar dinero pero también en el mantenimiento de sus instalaciones para la seguridad de todo el personal, por lo que siempre se anda buscando la manera de evitar o minimizar este gasto de mantenimiento en las instalaciones por lo que utilizar el sistema de protección contra rayos del tipo ionizante es la opción a utilizar por varias razones, la mas importante es que la punta en sí no requiere ningún tipo de mantenimiento ya que su funcionamiento se basa en estar en contacto con la tierra y está hecho de piezas cerámicas inalterables e acero inoxidable por lo que el pararrayos Saint Elme no requiere ningún tipo de mantenimiento, las demás razones son su fácil ubicación y debido a que los pararrayos ionizantes llevan menor número de accesorios de instalación el mantenimiento es mas rápido, sencillo y económico por lo que el beneficio en el mantenimiento es de gran impacto para aplicar este sistema de protección contra rayos en la industria.

5.2 Reducción de riesgos

Se analizará como el pararrayos ionizante contribuye en la rama de la seguridad e higiene industrial y en la protección ambiental.

5.2.1 En la seguridad e higiene industrial

Como ya sabemos la seguridad e higiene industria es el conjunto de conocimientos que se emplean con el objetivo de evitar accidentes y conservar la salud en el trabajo, la seguridad nos sirve para:

- Prevenir accidentes
- Eliminar condiciones inseguras del ambiente
- Convencer a los trabajadores de la importancia de las medidas preventivas.

Tomando en cuenta estos conceptos podemos observar que la implementación de este sistema de protección contra rayos para la empresa donde se llevo a cabo la aplicación los a ayudado muchísimo en la seguridad e higiene industrial pues este cubre casi todos los objetivos de la seguridad industrial que son:

- Evitar la lesión y muerte por accidente, el pararrayos Saint Elme cumple con este objetivo en un gran porcentaje.
- Reducción de costos operativos de producción, el pararrayos también cumple con este objetivo como veremos más adelante.
- Maximizar beneficios y delimitar costos, también cumple como observamos en los renglones anteriores de beneficios monetarios.
- Mejorar la imagen de la empresa, el pararrayos además de mejorar la protección también mejora la imagen pues enseña que la empresa se preocupa de los efectos que puede causar la naturaleza.

Observando estos datos nos podemos dar cuenta con facilidad de la importancia de la implementación de este sistema de protección contra rayos, pues el pararrayos esta diseñado para mejorar todos los aspectos de la seguridad e higiene industrial y algo que no se puede dejar sin mencionar es la protección que este ofrece en el renglón de higiene industrial específicamente en la protección ambiental como se detalla a continuación.

5.2.1.1 Protección Ambiental

Ya habiendo observado en los pasos o renglones anteriores la importancia que tiene este sistema en la ayuda de la seguridad e higiene industrial para las industrias, en especial en la aplicación realizadazo podemos dejar de lado mencionar que el pararrayos además de proteger a las personas e instalaciones de la empresa, también protege el medio ambiente, todo esto empezando desde su instalación pues a la hora de instalarlo no se utiliza ningún elemento que dañe el alrededor del pararrayos al contrario beneficia en una enormidad al ambiente que lo rodea, pues puede prevenir explosiones de materiales de combustión e incendios en industrias ya que el rayo puede o produce este efecto, por lo que aplicar este sistema va a beneficiar a que las industrias no dañen el medio ambiente debido a los problemas que conllevan los rayos.

Para ejemplificar mejor este punto tenemos el ejemplo del incendio en la fábrica de almacenamiento de combustible en el puerto de San José en Escuintla, Guatemala.

Figura 15. Fábrica de almacenamiento de combustible



Este incendio que tardo días en apagarse fue originado por un rayo y causo una gran contaminación al medio ambiente.

5.2.1.2 Costo/Beneficio en proteger al trabajador

El bienestar de los trabajadores debe de considerarse desde varios puntos de vista; dos de esos puntos son: evitar que sufran accidentes y evitar que sufran enfermedades, razones por la cual se creo la seguridad e higiene industrial. Los accidentes que se podrían relacionar o padecimientos que podrían afectarle al trabajador a causa de las descargas electro atmosféricas pueden ser desde la muerte hasta lesiones menores.

Razón por la cuál se estudian las razones por las que son necesarias protegerse de los impactos directos de los rayos ya que pueden afectar directamente al trabajador y por consiguiente al bolsillo de la empresa o industria, por eso analizaremos cuales son o podrían ser los costos cuando no se protege bien al trabajador en relación a las descargas de los rayos:

- Muerte, en caso de este in fortuito acontecimiento la empresa deberá cubrir los gastos totales de todo lo relacionado con la muerte del trabajador desde pago de seguros, demandas, indemnizaciones y hasta los gastos funerales.

Figura 16. Impacto de rayo en bodega de COMELEC



Figura 17. Ejemplo de muerte por falta de un pararrayos



- Lesión, este va a representar la mayoría de costos para la empresa porque se puede dar que un trabajador hasta una cuadrilla entera de trabajadores quede fuera por lesión dada por quemadura, fractura, desmembramiento, ceguera, etc.. son muchas las lesiones que podría causarle a una persona el hecho de estar cerca de una descarga de rayo por consiguiente los costos también para la empresa pueden llegar a ser mayores que la de la muerte de un trabajador pues van a depender del tiempo que el trabajador queda fuera por recomendación del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social por lo que hay que seguir pagándole al empleado, se pueden sufrir gastos en recontractar nuevo personal tanto en la contratación como en el momento que este empieza a laborar dentro de la empresa estos serán los gastos de capacitación ya que debido al tipo de trabajo que esta empresa realiza no existe mucha mano de obra calificada para

realizar estar este tipo de instalaciones y brindar también un excelente servicio, luego si se da el caso en los gastos que acarrea el despido o reubicación del mismo y lo mas importante el gasto que este representa el la perdida en la producción o en el suministro del servicio, ya que como puede ser un empleado que sea fácil de suplir puede que sea uno de gran importancia dentro de la empresa y todo esto representa un costo que se pudo prevenir gracias a la implementación de este tipo de protección contra rayos está de más aclarar que se previno accidentes en caso de un rayo ya que los demás accidentes siempre van a ocurrir.

Habiendo analizado todo lo que nos puede representar a nosotros como empresa el no proteger al trabajador queda claro que es inminente la aplicación de este sistema ionizante de protección contra rayos, para evitar así todos los costos que nos representaría un accidente a causa de una descarga por lo que de este sistema se puede decir que no es un gasto sino una inversión.

5.2.2 En la producción

Uno de los objetivos que se podrían tomar en cuenta a la hora de querer instalar este sistema ionizante de protección contra rayos es los beneficios que nos va a traer en la producción ya sea de un bien o de un servicio, que fue el objetivo principal que llevo a la empresa a instalar este sistema, pues representó un gran gasto o perdida monetaria bastante alta el tener que reponer el equipo dañado dentro de la bodega pues todo el material allí almacenado servía para cumplir con el servicio de suministro e instalación de equipos eléctricos por lo que no solo represento el gasto monetario de reponer todo el equipo sino también el tiempo perdido en instalaciones esto se puede mencionar para esta empresa, pero en

empresas de producción continua va a representar un gasto monetario el tener parado cualquier línea o estación de producción producida o a causa de una descarga atmosférica, pensando en el costo que representa a una empresa lo mencionado con anterioridad se pueden mencionar a empresas despachadoras de combustible pues algunas cuentan con este tipo de protección ya que representa para ellos un gasto enorme el perder una isla o bomba de servicio de combustible a causa de una descarga de rayo pues pierde dinero en reponer la bomba y lo más importante para ellos dejan de servir la gasolina en esa bomba por el tiempo en que este parada la bomba por lo que para ellos como para cualquier empresa o industria es necesario pensar en el beneficio que tendría este renglón de la perdida en la producción si se aplicara el sistema de protección contra rayos Franklin France® y realizaron el debido estudio para aplicar este sistema.

Figura 18. Ejemplo de instalación



5.2.2.1 Costos directos en la producción o servicio por una descarga

Estos costos son los que incluyen desembolsos que se atribuyen en forma directa a un producto o servicio determinado, en este caso se analizarán los costos directos que afectaron a la empresa COMELEC en el tiempo que recibió la descarga del rayo pues como ya sabemos sufrió una descarga de rayo en el transformador instalado por la empresa eléctrica de Guatemala frente a la oficina cuando algunos de los equipos de mayor valor se encontraban a prueba lo cuál proporciono grandes perdidas en equipo eléctrico, los costos directos en ese momento fueron la perdida del material eléctrico en sí con un valor mayor a los Q. 20,000.00 y la reposición de este que fue mayor a los Q. 35,000.00 sumando las dos se puede observar que el costo que sufrió fue mayor a los Q. 55,000.00 valor que es mucho mayor al de instalar el sistema de protección contra rayos pues ya habiendo analizado lo que represento en términos monetarios la instalación del sistema de protección contra rayos del tipo ionizante se sabe con seguridad estas afirmaciones.

5.2.2.2 Costos indirectos en producción o servicio por una descarga

Estos costos son los que incluyen desembolsos o falta de ganancias por perdida de tiempo en el paro del la producción o del servicio. Los costos indirectos que sufrió la empresa donde se realizo el estudio fue que durante el tiempo que ocurrió la descarga del rayo fue el gasto que represento tener a los trabajadores sin poder realiza ningún tipo de inspección, monitoreo y lo mas importante ninguna instalación ya que se les estaba pagando por no hacer nada que representara ganancia monetaria

para la empresa, también los gastos de escrituración, facturación que llevo el problema y la resolución de este.

5.2.2.3 Costo/Beneficio para la producción al aplicar este sistema

Como observamos el costo que le represento a la empresa no tener este tipo de protección fue casi 5 veces mayor por lo que el costo supero en gran cantidad al beneficio obtenido por aplicar este sistema pues hasta la fecha no han sufrido otra perdida monetaria debido a este fenómeno fascinante y a la vez intrigante que todos conocemos comúnmente como el rayo.

CONCLUSIONES

1. Las descargas electro-atmosféricas llamadas comúnmente RAYOS, son fenómenos naturales permanentes y universales, generando canales de energía eléctrica pulsante de cinco centímetros de ancho con una velocidad de 145,000 kilómetros por segundo, temperaturas de hasta 28,000 grados centígrados (cinco veces la temperatura de la superficie del sol) y potenciales de 125 millones de voltios; de toda esta energía que produce el rayo, el 75% se convierte en calor.
2. Cuando las condiciones normales de buen tiempo se alteran por distintos fenómenos atmosféricos, tales como la lluvia, granizo, nubes tormentosas, etc., se producen casi siempre inversiones del campo eléctrico de la región, aportándose gran cantidad de carga negativa a la tierra como consecuencia de los procesos siguientes, descargas continuas de electricidad positiva por las puntas de conductores conectados a tierra y descargas intermitentes de gran magnitud eléctrica positiva, como consecuencia de caídas de rayos. Los RAYOS que nosotros comúnmente observamos son los de nube-tierra, que son de arriba hacia abajo, pero lo que no sabemos es que existen rayos que suben, o sea de tierra-nube, que son los más destructivos para los equipos eléctricos, telefonía, cómputo y demás componentes que necesiten de corriente para su funcionamiento.
3. Los sistemas que existen para la protección contra el impacto directo de un rayo son las Puntas Franklin, la Jaula de Faraday y los pararrayos ionizantes tales como el Saint Elme marca Franklin France®, cada uno con su sistema de operación y protección, el

sistema de protección ionizante tiene mayor área de protección con el mismo costo que los sistemas convencionales, los sistemas de protección convencionales son más caros que los sistemas ionizantes, el sistema de protección que tiene mayor cobertura por unidad es el ionizante, siguiéndole el de Punta Franklin y por último, la Jaula de Faraday; el sistema que conlleva menor número de accesorios de instalación es el ionizante.

4. Para poder implementar este sistema de protección ionizante es necesario cumplir con los pasos correctos que son, saber la densidad de rayo en el sitio, la configuración del sitio, su distribución, la proximidad de un Pararrayos, el historial de problemas por rayos en años anteriores, la sensibilidad de los equipos y el costo y consecuencia de la indisponibilidad de los equipos; después de revisar estos pasos se toma la decisión de aplicar el sistema de protección ionizante contra rayos, y habiendo realizado la implementación de este sistema, se afirma que es el más adecuado para la industria.
5. La empresa donde se realizó el estudio sufrió un gasto monetario de Q. 55,000.00, a causa de un impacto dentro de sus instalaciones por no tener ningún tipo de protección contra impacto directo, y a raíz de ese problema aplicó el sistema de protección del pararrayos Saint Elme que en ese entonces le costó solamente alrededor de Q. 15,000.00 el aplicar este sistema, lo que le ha conllevado grandes mejoras actualmente, pues se ha evitado problemas de este tipo y en la actualidad se dedica a la instalación de este servicio.
6. Queda demostrado que los resultados, a la hora de aplicar este sistema de protección ionizante contra rayos, son inmediatos pues se

protege en ese momento las instalaciones, se reducen gastos y es mejor la protección del personal.

7. Los beneficios que conlleva la aplicación de este sistema son bastante grandes, pues empiezan desde su bajo costo de instalación, el casi inexistente mantenimiento, la reducción de riesgos es inmediata tanto para el trabajador como para el medio ambiente y para la producción de bienes o servicios, los pararrayos ionizantes son adecuados para cubrir áreas grandes, edificios altos de forma irregular, brindan mayor área de protección, lo que demuestra que los beneficios que brinda este sistema de protección son bastante grandes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que cuando se construya cualquier sistema de protección contra descargas electro-atmosféricas, todas las uniones, derivaciones y empalmes deben fijarse o soldarse de la mejor forma posible para evitar falsos contactos.
2. Antes de instalar el circuito de tierra del sistema de protección contra descargas electro-atmosféricas, se recomienda establecer las características del suelo.
3. Se recomienda establecer un período de mantenimiento anual para todos los sistemas, con el objeto de obtener un buen funcionamiento.
4. Es recomendable aplicar este sistema de protección en la industria ya que en nuestro país existe la necesidad de implementar Sistemas de Protección contra Rayos en un corto plazo, que permitan la reducción de costos para ser competitivos dentro del marco de la creciente globalización e industrialización, por lo que actualmente existe la necesidad de desarrollar la cultura en seguridad y reducción de costos, a las empresas guatemaltecas.
5. Cuando se diseñe un sistema de protección contra descargas, se recomienda aplicar este sistema de protección ionizante tipo Saint Elme marca Franklin France®, en las industrias, debido a sus grandes beneficios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Conpro, Siempre Adelante. **Puesta a tierra para sistemas eléctricos de Corriente alterna.** Grounding Technologies, Inc. Año 2000.
2. Díaz, Pablo. **Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas eléctricos de Distribución.** Editorial Mcgraw-Hill Interamericana. Febrero del 2001.
3. Franklin France®. **Entre Cielo y Tierra.** Grupo Sicame, 2001.
4. Franklin France®. **The Global Approach to Lightning.** Grupo Sicame, Enero 2003
5. Franklin France®. **El Esencial, Protección contra el Rayo.** Grupo Sicame, 2001.
6. <http://helita-votresecuritelafoudre.com> **La Protección contra el rayo.**
7. Ingesco. **Catálogo de Productos.** DENA Desarrollos, s.l. octubre 2000.
8. NORMA UNE 21.186. **Protección de estructuras, edificaciones y Zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado.** AENOR, 1996.
9. Sánchez, Roberto Antonio. **Pararrayos – Medidas de Seguridad.** Selección de pararrayos en sistemas de potencia 1977.

ANEXOS

Figura 19. Catálogo promocional Franklin France

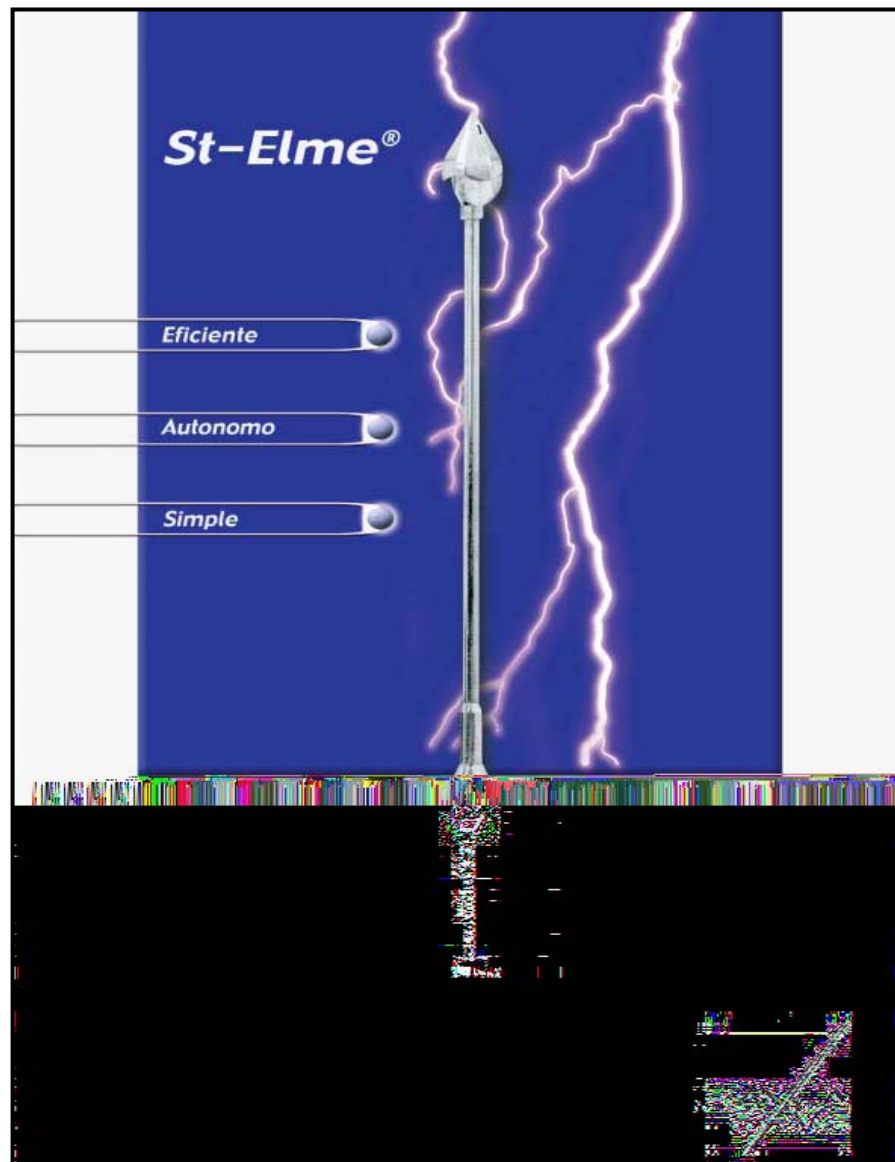


Figura 20. Instalación pararrayos Saint Elme



Figura 21. Instalación pararrayos Saint Elme 15



Figura 22. Instalación pararrayos en fábrica de zona 12



Certificación de la ISO 9000

CERTIFICATION



N° QUAL/2001/17569

FRANKLIN FRANCE

CONCEPTION, FABRICATION, VENTE, DISTRIBUTION, INSTALLATION
DE PARATONNERRES, PARAFODRES ET AVERTISSEURS D'ORAGES.

DESIGN, MANUFACTURING, SALES, DISTRIBUTION, INSTALLATION OF LIGHTNING
CONDUCTORS, OVERVOLTAGE PROTECTION AND STORM WARNING SYSTEMS.

CONCEPCIÓN, FABRICACIÓN, VENTA, DISTRIBUCIÓN, INSTALACIÓN
DE PARARRAYOS, SUPRESORES DE PICO E AVISADORES DE TORMENTAS.

13, rue Louis Armand BP 106 F-77834 OZOIR-LA-FERRIERE CEDEX

AFAQ certifie que pour les activités et les sites référencés ci-dessus toutes les dispositions mises en oeuvre
pour répondre aux exigences requises par la norme internationale :
AFAQ certifies that all the arrangements covering the above mentioned activities and locations are established
to meet the requirements of the international standard:

ISO 9001 : 2000

ont été examinées et jugées conformes.
have been examined and found conform.

2001-12-21

(année/mois/jour)

Il est valable jusqu'au*
It is valid until*

2004-12-20

(year/month/day)

Le Président du Comité de Certification
The President of the Certification Committee

C. GUÉRIN

Le Directeur Général d'AFAQ
The Managing Director of AFAQ

O. PEYRAT

Le Représentant de l'Entreprise
On Behalf of the Firm

Y. HENAFF

A. TERREAU

*Sauf suspension notifiée entre temps par AFAQ à l'entreprise désignée ci-dessus. Le présent document n'a donc qu'une valeur indicative. Seule fait foi la base de données des certificats AFAQ accessible à l'adresse Internet : <http://www.afaq.org>
L'organisation AFAQ est conforme aux normes internationales en vigueur (guide ISO/IEC 62 - norme EN 45012). Les accréditations détenues par AFAQ et ses filiales sont disponibles à l'adresse Internet : <http://www.afaq.org/accréditations>
*Excepting notification by AFAQ to the above-mentioned company of its suspension. This document is for information purposes only. For up-to-date information, the only official source is the AFAQ certificates database at <http://www.afaq.org>
The AFAQ organization complies with the international standards in force (62 ISO/IEC Guide - EN 45012 standard). Information on the accreditations held by AFAQ and its subsidiaries is available at: <http://www.afaq.org/accréditations>

AFAQ - 116, AVENUE ARISTIDE BRIAND - BP 40 / F-92224 BAGNEUX CEDEX FRANCE



Benjamín Franklin

Benjamín Franklin (1706-1790), filósofo, político y científico estadounidense, cuya contribución a la causa de la guerra de la Independencia estadounidense, y gobierno federal instaurado tras la misma, le situaron entre los más grandes estadistas del país.

Franklin nació el 17 de enero de 1706 en Boston. Después de asistir a la escuela primaria desde los 8 a los 10 años de edad, Benjamín empezó a trabajar en la cerería de su padre. Cuando tenía 13 años de edad trabajó como aprendiz en la imprenta de su hermano. Benjamín aprendió este oficio, dedicando su tiempo libre a perfeccionar su formación, leyendo obras de John Bunyan, Plutarco, Daniel Defoe, Cotton Mather, sir Richard Steele y Joseph Addison.

Desde 1721 colaboró con su hermano James en la redacción y edición del *New England Courant*. Debido a su tendencia liberal, esta gaceta molestó a menudo a las autoridades coloniales.

Como consecuencia de los desacuerdos con James, Benjamín abandonó Boston y se dirigió a Filadelfia en octubre de 1723. Allí conoció a sir William Keith, gobernador de Pensilvania, el cual convenció a Franklin para que fuera a Gran Bretaña a completar su formación como impresor, y comprar el equipo necesario para fundar su propia imprenta en Filadelfia. El joven Franklin siguió su consejo y llegó a Londres en diciembre de 1724. Pronto encontró empleo en dos de las más destacadas imprentas de Londres, Palmer's y Watt's y comenzó a ser reconocido en los ambientes literarios y editoriales londinenses.

En octubre de 1726, Franklin volvió a Filadelfia y reanudó su trabajo. Al año siguiente, con varios conocidos suyos, organizó un grupo de debate

denominado Junto, que más tarde se convertiría en la Sociedad Filosófica de Estados Unidos. En septiembre de 1729, compró la *Pennsylvania Gazette*, un semanario vulgar que convirtió en un periódico entretenido e informativo con su estilo ingenioso y su juiciosa selección de noticias.

Franklin participó en muchos proyectos públicos. En 1731 fundó la que probablemente fue la primera biblioteca pública de Norteamérica, inaugurada en 1742 con el nombre de Biblioteca de Filadelfia. También publicó el *Almanaque del Buen Ricardo* en 1732, bajo el seudónimo de Richard Saunders. Este modesto almanaque se ganó rápidamente a un gran público y con su saber práctico y sencillo ejerció una influencia persuasiva en el carácter de la población colonial. En 1736, Franklin formó parte de la Asamblea General de Pensilvania y al año siguiente fue nombrado administrador de Correos de Filadelfia. Por esta época organizó también la primera compañía de seguros contra incendios de la ciudad e introdujo métodos para mejorar la pavimentación e iluminación de las calles. Siempre interesado en los estudios científicos, ideó sistemas para controlar el exceso de humo de las chimeneas, y alrededor de 1744 inventó la estufa de hierro Franklin, que producía más calor con menos combustible.

En 1747, Franklin inició sus experimentos sobre la electricidad. Adelantó una posible teoría de la botella de Leyden, defendió la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico y propuso un método efectivo para demostrarlo. Su teoría se publicó en Londres y se ensayó en Inglaterra y Francia, antes incluso de que él mismo ejecutara su famoso experimento con una cometa en 1752. Inventó el pararrayos y presentó la llamada teoría del fluido único para explicar los dos tipos de electricidad, positiva y negativa. En reconocimiento a sus impresionantes logros científicos, Franklin recibió títulos honorarios de las universidades de Saint Andrews y Oxford. También fue elegido miembro de la Sociedad Real de Londres, y en 1753 fue galardonado con la Medalla Copley por sus destacadas contribuciones a la ciencia experimental. Franklin ejerció también gran influencia en el campo de la educación, siendo determinantes sus escritos para la fundación en 1751 de la Academia Filadelfia, que más tarde se convertiría en la Universidad de Pensilvania. El plan de estudios que proponía se alejaba bastante del programa de estudios clásicos tan en boga en ese momento; concedía gran importancia al estudio del inglés y las lenguas modernas, así como a las matemáticas y ciencias.

Benjamín Franklin fue el principal seguidor de los postulados de Isaac Newton en América. Su teoría sobre la electricidad se basaba en la noción

newtoniana de la repulsión mutua de las partículas que el científico inglés había expuesto en su *Óptica*.

En 1748, Franklin vendió su imprenta y en 1750 fue elegido para la Asamblea de Pensilvania, donde prestó servicios hasta 1764. Fue nombrado inspector general de Correos para las colonias británicas en América en 1753 y, en 1754, fue delegado de Pensilvania en el Congreso de Albany, que se celebró para debatir la actitud que se debía mantener ante la Guerra Francesa e India. Su Plan Albany, que se anticipaba en muchos aspectos a la Constitución de Estados Unidos de 1787, defendía la independencia local dentro del marco de la unión colonial.

Cuando estalló la Guerra Francesa e India, Franklin proporcionó suministros al capitán general inglés Edward Braddock, garantizando su propio crédito a los granjeros de Pensilvania, quienes desde ese momento proporcionaron los equipos necesarios. Los propietarios de Pennsylvania Colony, descendientes del líder cuáquero William Penn, siguiendo sus principios religiosos de oposición a la guerra se negaron a permitir que se tasaran sus terrenos para sufragar el conflicto. Así pues, en 1757 Franklin fue enviado a Inglaterra por la Asamblea de Pensilvania para solicitar al rey el derecho de recaudar impuestos por la propiedad de la tierra. Al acabar su misión se quedó cinco años más en Inglaterra como primer representante de las colonias estadounidenses. Durante este período entabló amistad con el químico Joseph Priestley, el filósofo e historiador David Hume y el economista Adam Smith.

Franklin volvió a Filadelfia en 1762, donde permaneció hasta 1764, cuando una vez más fue enviado a Inglaterra como representante de Pensilvania. En 1766 hubo de declarar ante la Cámara de los Comunes sobre los efectos de la *Stamp Act* (Ley del Timbre) en las colonias. Su testimonio tuvo una influencia enorme en la revocación de esta ley. Sin embargo, pronto se introdujeron en el Parlamento nuevos planes para gravar con impuestos a las colonias, por lo que Franklin empezó a sentirse dividido entre la devoción a su tierra natal y la lealtad a Jorge III. Finalmente, en 1775 tuvo que admitir la inevitabilidad de la guerra. Cuando regresó a Filadelfia el 5 de mayo de 1775 las batallas de Lexington y Concord habían desencadenado la contienda. Fue elegido miembro del segundo Congreso Continental, prestando servicios en diez de sus comités.

En 1775 Franklin viajó a Canadá para conseguir su apoyo y cooperación en la guerra en favor de las colonias. A su regreso fue uno de los cinco

miembros del comité designado para redactar la Declaración de Independencia. En septiembre del mismo año fue elegido como delegado para conseguir la ayuda económica de Francia. Superando la virulenta oposición del ministro de Finanzas francés Jacques Necker, logró obtener sustanciosas concesiones y préstamos de Luis XVI de Francia, gracias al prestigio que tenía en este país como científico, y a la integridad e ingenio que desplegó durante las negociaciones. Franklin animó y ayudó materialmente a los corsarios estadounidenses que operaban contra la Marina británica, especialmente John Paul Jones. El 6 de febrero de 1778 Franklin negoció los tratados de comercio y amistad con Francia y España, que posteriormente cambiaron el rumbo de la guerra. Siete meses después fue nombrado por el Congreso, ministro plenipotenciario de Estados Unidos en Francia.

En 1781, Franklin, John Adams y John Jay fueron designados para concluir un tratado de paz con Gran Bretaña. El Tratado de París, que puso fin a la guerra, se firmó en Versalles el 3 de septiembre de 1783. Su fama como científico le sirvió para ser elegido por el monarca francés Luis XVI para investigar los hallazgos del médico austriaco Franz Anton Mesmer y el fenómeno del magnetismo animal. Como dignatario de una de las más distinguidas logias masónicas de Francia, Franklin tuvo oportunidad de conocer a muchos personajes que posteriormente se convirtieron en figuras destacadas de la Revolución Francesa, sobre cuyo pensamiento político ejerció una gran influencia pese a oponerse a los cambios por medio de la violencia.

En marzo de 1785, Franklin renunció a su cargo en Francia para regresar a Filadelfia, donde fue elegido inmediatamente presidente del Consejo Ejecutivo de Filadelfia (1785-1787). En 1787 fue nombrado delegado de la convención que redactó la Constitución de Estados Unidos. Profundamente interesado en proyectos filantrópicos, uno de sus últimos actos públicos fue firmar una petición al Congreso, el 12 de febrero de 1790, como presidente de la Sociedad Abolicionista de Pensilvania, instando a la abolición de la esclavitud y la supresión del comercio de esclavos. Dos meses después, el 17 de abril, murió en su casa de Filadelfia, a los 84 años de edad.