

**PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: SISTEMA DE  
PROTECCIÓN EXTERNA PARA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE  
CRUDO**

**LUDWIG ANDRÉS AMADO BAUTISTA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016**

**PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: SISTEMA DE  
PROTECCIÓN EXTERNA PARA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE  
CRUDO**

**LUDWIG ANDRÉS AMADO BAUTISTA**

**Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Electricista**

**Director:  
RAFAEL ARISMENDY WEBBER  
Magister en Potencia Electrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por mostrarme el camino correcto en esta aventura que llamamos vida

A mi Madre Edilse Bautista Bautista, y a mi Padre Orlando Amado Castellanos quienes sembraron en mí los valores de un luchador que no conoce derrota, los deseos de superación día a día, el no rendirme hasta alcanzar el objetivo y lo más importante, realizar lo que me propongo con amor.

A mi hijo Andrés David, quien llegó como motor para impulsar mis ganas, activar mis sueños y culminar esta etapa de pregrado.

A mi Esposa Dayana Andrea quien me sostuvo de cerca en los tropiezos y obstáculos que se presentaron.

A mis hermanas Sandy Gisell, Angie Julieth y Nathalia Katherine quienes compartieron los valores de un hogar sostenido en la moraleja “Nunca olvides que en la unión se encuentra la fortaleza” de la fábula de Esopo “los hijos del labrador”, fortaleciendo mis pasos y apoyando mis decisiones.

A mis profesores que día a día dedican su tiempo a formar personas, y buscando a través de esa labor el logro de un futuro cada día mejor.

A mis familiares quienes dedicaron tiempo para conseguir este logro con un consejo o una frase de aliento.

A todos los que creyeron en mí, infinitas gracias. Los amo.

Cada vez que quieras lograr algo, mantén los ojos abiertos, concéntrate y asegúrate de saber exactamente qué es lo que deseas. Nadie puede dar en el blanco con los ojos cerrados.-Paulo Coelho.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. CONCEPTOS GENERALES	18
1.1 PARÁMETROS DEL RAYO	18
1.1.1 Nivel cerámico NC	18
1.1.2 Densidad de descargas a tierra (DDT).	18
1.1.3 Amplitud de la corriente de retorno del rayo	18
1.2 ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO	19
1.2.1 Proceso de manejo del petróleo	19
1.2.2 Tipos de tanques de almacenamiento de crudo	19
1.2.2.1 Tanques de techo fijo	19
1.2.2.2 Tanques de techo flotante	19
1.2.2.3 Tanques de techo flotante interno o geodésicos	20
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
2.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 4552)	21
2.2 INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO (API 650)	22
2.3 NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA-780)	23
2.4 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)	24
2.4.1 Sistema de protección externo (SPE)	26
2.4.2 Sistema de protección interno (SPI).	27

2.4.3 Sistema de prevención de riesgos (SPR).	27
2.4.4 Periodicidad de la inspección del SIPRA	27
2.5 NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (NPR)	28
3. SISTEMA DE CAPTACIÓN	30
3.1 DISPOSITIVOS DE CAPTACIÓN	30
3.1.1 Puntas tipo Franklin.	30
3.1.2 Cables colgantes	31
4. SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES	32
4.1 BAJANTES	32
4.2 TIPOS DE SISTEMA DE BAJANTES	33
4.2.1 Sistema aislado eléctricamente de la estructura.	33
4.2.2 Sistema no aislado o unido eléctricamente a la estructura.	33
5. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)	35
5.1 Tensiones de paso y de contacto	35
5.1.1 Tensión de contacto	35
5.1.2 Tensión de paso	35
5.2 FUNCIONES DE UN SPT DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS	36
5.3 OBJETIVOS DE UN SPT	36
5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN GRANDES ÁREAS.	36
6. APLICACIÓN PRÁCTICA EN UNA ESTACIÓN MODELO	37
6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	37
6.2 NORMATIVIDAD	39
6.2.1 Normatividad vigente	39

6.2.2 Normatividad no vigente	39
6.3 ESPECIFICACIONES DE LOS TANQUES	39
6.3.1 Clasificación de áreas	40
6.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO SPE	41
6.4.1 Evaluación del nivel de riesgo	41
6.4.1.1 Calculo del nivel de riesgo de acuerdo a la NTC 4552	41
6.4.2 Diseño del sistema de captación por el método de la esfera rodante	47
6.4.2.1 Cálculos MER	48
6.4.2.2 Localización de puntas de captación MER	51
6.4.3 Diseño del sistema de captación por el método alternativo	54
6.4.3.1 Cálculos método alternativo	54
6.4.3.2 Instalación del sistema de captación método alternativo	54
6.4.4 Diseño del sistema de conductores bajantes, método esfera rodante y método alternativo	57
6.4.4.1 Instalación del sistema de conductores bajantes MER	58
6.4.4.2 Instalación del sistema de conductores bajantes método ALTERNATIVO	63
6.4.5 Diseño del sistema de puesta a tierra	67
6.4.5.1 Configuración tipo radial o tipo A.	68
6.4.5.2 Configuración tipo anillo o tipo B.	69
5. COSTOS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO	73
5.1 MÉTODO ESFERA RODANTE	74
5.2 MÉTODO ALTERNATIVO	76
6. CONCLUSIONES	81

7. RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
BIBLIOGRAFÍA	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA).....	25
Figura 2. Sistema de protección externo. ....	26
Figura 3. Sistema de protección interno. ....	27
Figura 4. Vista Planta, modelo general. ....	38
Figura 5. Vista Isométrica, modelo general.....	38
Figura 6. Evaluación del riesgo.....	42
Figura 7. Perfiles Frontal y Lateral, MER en los tanques de almacenamiento.....	49
Figura 8. Perfiles frontal y lateral MER en la zona de tratamiento, cuarto de control y tanque del sistema de RCI.....	50
Figura 9. Mástil en la zona de tratamiento. ....	50
Figura 10. Detalle del mástil.....	51
Figura 11. Puntas captadoras en los tanques de almacenamiento.....	52
Figura 12. punta captadora en la zona de tratamiento.....	53
Figura 13. Puntas captadoras en tanque de RCI y cuarto de control.....	53
Figura 14. Configuración en tanques de almacenamiento.....	55
Figura 15. Configuración en cuarto de control. ....	55
Figura 16. Configuración en zona de tratamiento. ....	56
Figura 17. Configuración en chimenea. ....	56
Figura 18. Bajantes localizados en MER .....	59
Figura 19. Bajantes localizados en método alternativo.....	63
Figura 20. Configuración radial o tipo A.....	69
Figura 21. Configuración anillo o tipo B. ....	70
Figura 22. Detalle malla de puesta a tierra .....	71
Figura 23. Detalle sección A-A, en figura 22.....	71
Figura 24. Detalle de pozo en cada bajante y en la malla de puesta a tierra.....	72

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Nivel de protección contra rayos.....	28
Tabla 2 Dispositivos de captación y normatividad. ....	30
Tabla 3. Requerimientos para las bajantes según la altura de la estructura.....	32
Tabla 4. Distancia de separación promedio para conductores bajantes. ....	33
Tabla 5. Mediana del valor pico de la corriente de retorno del rayo en diferentes zonas del planeta.....	43
Tabla 6. Indicador de exposición al rayo.....	43
Tabla 7. Sub-indicador relacionado con el uso de la estructura. ....	44
Tabla 8. Sub-indicador relacionado con el tipo de estructura .....	44
Tabla 9. Sub-indicador relacionado con la altura y el área de la estructura.....	44
Tabla 10. Indicador de Gravedad.....	45
Tabla 11. Matriz de niveles de riesgo. ....	46
Tabla 12. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo. ....	46
Tabla 13. Valores mínimos de parámetros del rayo al radio de la esfera rodante correspondiente a cada NPR.....	47
Tabla 14. Porcentaje de impacto directo en estructuras. ....	52
Tabla 15. Distancia de separación promedio para conductores bajantes.....	57
Tabla 16. Requerimientos para las bajantes.....	58
Tabla 17. Detalle cantidades sistema bajantes MER.....	61
Tabla 18. Detalle cantidades sistema bajantes método alternativo. ....	65
Tabla 19. Valores típicos de resistividad de tipos de suelos.....	67

## GLOSARIO

**Bajantes:** Elementos conductores que tienen como función dirigir la corriente de rayo a lo largo de la estructura a proteger, hasta la malla de tierra.

**Sistema de protección externo (SPE):** Es el conjunto de elementos que encierran la estructura para prevenir el impacto directo del rayo sobre ella.

**Sistema de puesta a tierra (SPT):** Es la conexión directa de elementos conductores entre la instalación eléctrica y la malla de puesta a tierra.

**Tensión de contacto:** Es la diferencia de tensión que se produce al contacto con una estructura aterrizada y la superficie del terreno.

**Tensión de paso:** Es la diferencia de tensión que se produce sobre dos puntos de la superficie del terreno.

**Densidad de descargas a tierra (DDT):** Es la cantidad de descargas por kilómetro cuadrado en el año.

**Electrodo de puesta a tierra:** Elemento conductor de gran solides que permite la interacción con el terreno para una mejor disipación de la corriente.

**Equipotencialización:** unión o amarres entre todos los elementos del sistema para establecer un solo potencial.

**Nivel de riesgo por rayos:** Es el indicador que permite dimensionar los sistemas de protección contra rayos.

**Nivel cerámico:** Es el número de días al año en que suena por lo menos un trueno.

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA PARA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO\*

**AUTOR:** AMADO BAUTISTA, Ludwig Andrés \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Tanques de Almacenamiento de Crudo, Rayo, Sistema de Puesta a tierra, Puntas Captadoras, Apantallamiento, Método Esfera Rodante, Método Alternativo, Bajantes, Conexión equipotencial, Neutro.

### DESCRIPCIÓN:

En este trabajo de grado se realiza el diseño del proceso para el estudio y ejecución del sistema de puesta a tierras y protección externa en una subestación de almacenamiento de crudo, basados en parámetros definidos por el marco normativo y reglamentario vigente a nivel nacional, cumpliendo con los requisitos arquitectónicos de las obras civiles y eléctricas, teniendo como propósito mejorar la seguridad del capital y del personal, minimizando las pérdidas pero maximizando el mejoramiento de los procesos continuos que se llevan a cabo en el sector petrolero.

Cuando se quiere construir, ampliar, remodelar, verificar y/o renovar cualquier estación o subestación de almacenamiento de crudo debe llevar un estado de conformidad, constatando el cumplimiento de las normas y evitando problemas que impidan el buen funcionamiento de las instalaciones, preservando como objetivo principal la protección de personas, medio ambiente y demás.

Es importante resaltar que cada proceso de diseño es independiente y por lo tanto se le debe tratar como tal. En este proyecto se contempla un modelo general con el propósito de abarcar en su mayoría todos los temas y especificaciones, y así dar a conocer un estimativo de los costos que se pueden generar sobre el dimensionamiento de un proyecto real.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Rafael Arismendy Webber,

## ABSTRACT

**TITLE:** Lightning protection: EXTERNAL PROTECTION SYSTEM FOR OIL STORAGE STATION \*

**AUTHOR:** AMADO BAUTISTA, Ludwig Andrés \*\*

**KEYWORDS:** Oil Storage Tanks, Lightning, Grounding System, Tips scavenging, Shielding, Rolling Sphere Method, Alternative Method, downspouts, Equipotential Bonding, Neutral.

### DESCRIPTION:

In this paper grade design process for the study and implementation of the system of making land and external protection in a crude storage substation, based on parameters defined by the policy and regulatory framework at national level it is carried out in compliance with the architectural requirements of civil and electrical works, with the purpose to improve the security of capital and personnel, minimizing losses while maximizing the continuous improvement of processes carried out in the oil sector.

When you want to build, expand, remodel, verify and / or renew any electrical installation regardless of the year of its construction or design, you must carry a compliance status, verifying compliance and avoiding problems that impede the efficient functioning of the facilities, preserving as main objective the protection of persons, environment and others.

It is important to note that each design process is independent and therefore should be treated as such. This project provides a general model for the purpose of covering mostly all topics and specifications, and thus provide an estimate of the costs that can be generated on the design of a real project..

---

\* Research Work.

\*\* Faculty of Physical – Mechanical Engineering. Electric, Electronic and Telecommunications School. Directed, RAFAEL ARISMENDY WEBBER,

## INTRODUCCIÓN

La protección contra descargas atmosféricas en estaciones de almacenamiento de crudo es de suma importancia, ya que la historia nos ha mostrado una cantidad de eventos desafortunados en donde se han perdido vidas humanas y se han causado daños ambientales incalculables por causa de los impactos de rayo en tanques de almacenamiento de productos inflamables. En la actualidad los materiales para el desarrollo de un sistema de protección ha avanzado significativamente, por tanto el requerimiento es estudiar las clases de tanques existentes en las estaciones de almacenamiento ubicadas en los campos de extracción de crudo (petróleo) y la manera de mitigar las posibilidades de que al ser impactados por un rayo se produzcan efectos negativos como pérdida de vidas, pérdida del producto recolectado y accidentes al personal que labora, como también daños en la fauna y flora del lugar.

## 1. CONCEPTOS GENERALES

### 1.1 PARÁMETROS DEL RAYO

Estudios de investigación han establecido alrededor de quince parámetros mensurables, resaltando los siguientes:

**1.1.1 Nivel cerámico NC.** Número de días tormentosos al año. Por estudios realizados se destaca que son mayores las actividades en latitudes tropicales que en latitudes templadas.

**1.1.2 Densidad de descargas a tierra (DDT).** Es el número de descargas individuales a tierra por kilómetro cuadrado al año y nos permite cuantificar la incidencia de los rayos en la zona.

**1.1.3 Amplitud de la corriente de retorno del rayo.** Para Colombia se tiene una mediana<sup>1</sup> del valor pico de la corriente de retorno del rayo de 43 kA, basándose en estudios realizados por la Universidad Nacional en Bogotá y la información suministrada por la red colombiana de localización de rayos RECMA<sup>2</sup>.

***“La amplitud de la corriente de retorno del rayo es, frecuentemente referida, como el parámetro más importante para aplicaciones en ingeniería.” [6]***

---

<sup>1</sup> Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

<sup>2</sup> Research Company Evaluating the Media Agency Industry.

## 1.2 ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO

Zona donde se trata el petróleo crudo<sup>3</sup> que se recoge de los alrededores para posteriormente ser enviado a proceso.

**1.2.1 Proceso de manejo del petróleo.** Es un proceso continuo en el cual se recolecta del yacimiento el crudo y se transporta por medio de líneas de tubería hasta la estación, donde posteriormente por medio de presión son separados los líquidos de los gases. Posteriormente se envía el gas a proceso y los líquidos a medición para establecer la densidad y el procesamiento. A continuación se calienta para lograr sacar los sedimentos de la emulsión y posteriormente enviarla a los tanques de almacenamiento. El agua es pasada por un sistema de tratamiento para ser reutilizada.

**1.2.2 Tipos de tanques de almacenamiento de crudo.** Se fabrican 3 tipos de tanques para el almacenamiento de hidrocarburos, que son:

**1.2.2.1 Tanques de techo fijo.** Consta de una estructura unida mecánicamente por un cuerpo cilíndrico y un techo fijo. Estos tanques tienen en el techo una serie de válvulas de alivio que permiten el escape de gases combustibles a la atmósfera, lo que aumenta el riesgo de incendio por impacto de rayo. Por lo que se recomienda un sistema de protección externo tipo jaula de Faraday.

**1.2.2.2 Tanques de techo flotante.** En este tipo de tanques el techo flota en la superficie del líquido almacenado, lo que hace que las pérdidas por evaporación en el proceso de almacenamiento sean mucho menores al anterior. La ignición se puede presentar por impacto directo o por que se induzca una tensión entre partes

---

<sup>3</sup> Crudo: nombre que recibe el petróleo virgen.

no conductivas del tanque y el techo. Para su protección contra impactos directos y tensiones inducidas se usa un sello ajustado o shunts<sup>4</sup>.

Por tales razones se recomienda un programa de mantenimiento para asegurarse de que mantengan el buen contacto entre partes del techo y las paredes del tanque.

**1.2.2.3 Tanques de techo flotante interno o geodésicos** . Este tipo de tanques estan autoprotegidos ya que su techo en acero forma una jaula de Faraday. Y por este motivo el techo flotante interno no requiere conexión a las paredes del tanque para proteccion contra descargas atmosfericas, pero si requiere de una conexión a las paredes del tanque como protección contra descargas electrostáticas debido al flujo del combustible que se almacena.

---

<sup>4</sup> Los “shunts” son correas metálicas colocadas en los intervalos de no más de 3 metros alrededor de la circunferencia del tanque y en la parte superior del techo flotante que garantizan continuidad eléctrica o equipotencialización entre el techo flotante y las paredes del tanque y permiten la conducción de cualquier corriente de rayo a tierra sin generar chispas.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 4552)

Colombia a través del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), en el año de 1999 hace su primera aparición en las normas de sistemas de apantallamientos, posteriormente en el año 2004 presenta una actualización y finalmente su última actualización se hace en el 2008 quedando estructurada en tres secciones así: NTC 4552-1-2-3.

*“Esta Norma Técnica Colombiana, ha sido concebida para estar en armonía con las normas nacionales e internacionales que tienen que ver con la protección contra rayos. Proporcionando herramientas que permiten hacer un buen diseño de protección contra rayos apuntando hacia los efectos y consecuencias de la descarga, ya que dichas perturbaciones son inevitables y es imposible implementar una protección que garantice un 100% de efectividad”. [2]*

En cada una de sus versiones la Norma NTC 4552 se refiere a un sistema integral de protección contra rayos exponiendo siempre un mismo objetivo, establecer las medidas necesarias para una protección eficaz contra riesgos asociados a la exposición directa e indirecta de personas, animales, equipos, instalaciones y medio ambiente excluyendo los sistemas de transmisión y distribución de energía para los cuales existen sus propias normas.

En su primera parte, la Norma NTC 4552-1 (Principios generales), hace una presentación de las características y parámetros para llevar a cabo la simulación de los efectos del rayo, los riesgos y daños que estos generan a estructuras, acometidas, y seres vivos, las conveniencias económicas de una protección

efectiva contra rayos y finalmente se exponen los procedimientos, medidas y principios de protección a seguir para reducir lesiones en seres vivos, daños físicos a estructuras y fallas en sistemas eléctricos y electrónicos.

En su segunda parte, la Norma NTC 4552-2 (Manejo del riesgo), establece un procedimiento para la evaluación del nivel de riesgo en una estructura o en sus acometidas de servicio debido a descargas atmosféricas, partiendo de una situación en la que la estructura no está protegida, para determinar en primer lugar, la necesidad de implementar un sistema de protección contra rayos óptimo, tanto desde el aspecto técnico como desde el económico, que lleven a reducir el nivel de riesgo a un límite tolerable o por debajo de él.

En su tercera parte, la Norma NTC 4552-3 (Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida), presenta los requisitos necesarios para la protección de estructuras contra daños materiales y daños a seres vivos como consecuencia de la acción de la corriente de rayo o por la formación de ondas peligrosas, especialmente en el caso de descargas directas del mismo, por medio de un sistema de protección contra rayos (SIPRA), que incluye un sistema de protección externa y un sistema de protección interna, según sea el nivel de riesgo.

## **2.2 INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO (API 650)**

Se refiere a códigos establecidos siempre para tratar problemas de naturaleza general. El instituto cada 5 años establece una revisión de estos códigos y contemplan reafirmarlos, actualizarlos o eliminarlos.

Los códigos API son conocidos por estándares que facilitan la aplicación de buenas prácticas efectuadas en la ingeniería y operación.

Estos estándares cubren requerimientos para materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas de tanques soldados verticales cilíndricos, no enterrados con extremo superior abierto o cerrado en varios tamaños y capacidades para presiones internas aproximadas a la atmosférica (no deben exceder el peso de las láminas del techo), pero se permiten presiones internas más altas cuando se cumplen requerimientos adicionales. Este estándar aplica para tanques en los cuales la totalidad del fondo del tanque está soportado uniformemente y para tanques en servicio no refrigerado que tienen una temperatura máxima de diseño de 90°C (200°F) o menos.

Está diseñado para construir tanques con seguridad adecuada y costos razonables para almacenamiento de petróleo y sus derivados y otros productos líquidos comúnmente utilizados y almacenados por la industria del petróleo. El código no establece tamaños específicos de tanques y por el contrario se puede escoger cualquier tamaño que sea necesario. Su intención es ayudar a los clientes y a los fabricantes a comprar, fabricar y montar los tanques y no pretende prohibir la compra o fabricación de tanques que cumplan con otras especificaciones.

### **2.3 NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA-780)**

Tiene en cuenta los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Cuyo alcance es cubrir los requerimientos de instalación de sistemas tradicionales de protección contra descargas atmosféricas para lo siguiente:

- Estructuras ordinarias.
- Estructuras misceláneas y de ocupaciones especiales.
- Estructuras de almacenamiento pesadas.
- Barcos.

- Estructuras que contienen vapores inflamables, gases inflamables, o líquidos que pueden emitir vapores inflamables.

Este documento, no cubrirá los requerimientos de instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, para lo siguiente:

- Fábricas y almacenes (polvorines) de explosivos.
- Plantas de generación, de transmisión Eléctrica, y sistemas de distribución.

Este documento, no cubre los requisitos de instalación de sistema de protecciones contra descargas atmosféricas, para los sistemas con dispositivos de cebado ni para los sistemas de dispersión de cargas.

El propósito de esta norma es el de proveer un salvaguarda práctico para personas y propiedad de riesgos que representa la exposición a las descargas atmosféricas.

Donde las partes, dispositivos, u otros componentes, requeridos por esta norma estén disponibles como Listados, Etiquetados o aprobados, estos componentes deberán de ser utilizados. De otra manera, tales componentes deberán ser aprobados por la autoridad teniendo jurisdicción.

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas, se instalarán de una manera aseada y esmerada.

## **2.4 SISTEMA INTEGRAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)**

Un SIPRA es el conjunto de elementos que componen toda la protección contra rayos, con el propósito de brindar un nivel de protección adecuado.

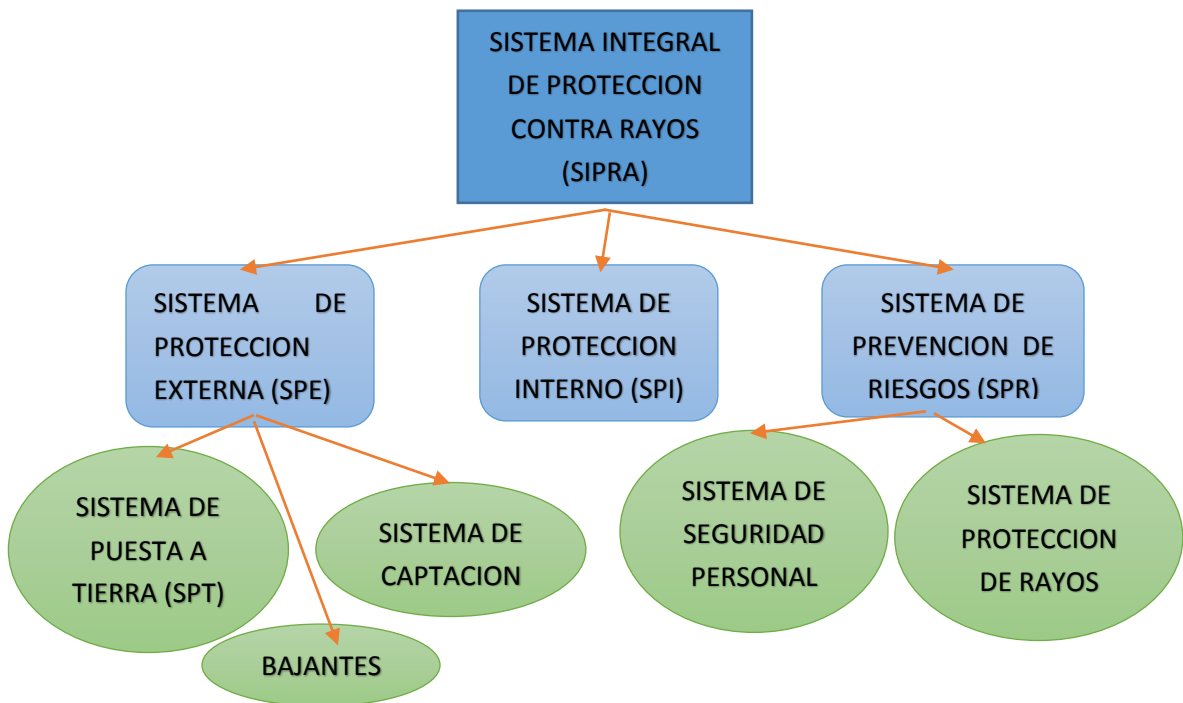
Este sistema es actualmente el más efectivo considerado para la protección contra descargas eléctricas atmosféricas<sup>5</sup>.

Al producirse una descarga atmosférica, esta genera varios efectos sobre las estructuras, aquellos que son producidos por el impacto directo del rayo en el sistema de captación se denominan efectos directos y los efectos como las tensiones inducidas generadas por la variación de grandes corrientes que produce el rayo se denominan efectos indirectos.

Para obtener un sistema eficiente es recomendable que contemple lo siguiente:

- Sistema de protección externo (SPE).
- Sistema de protección interno (SPI).
- Sistema de prevención de riesgos.

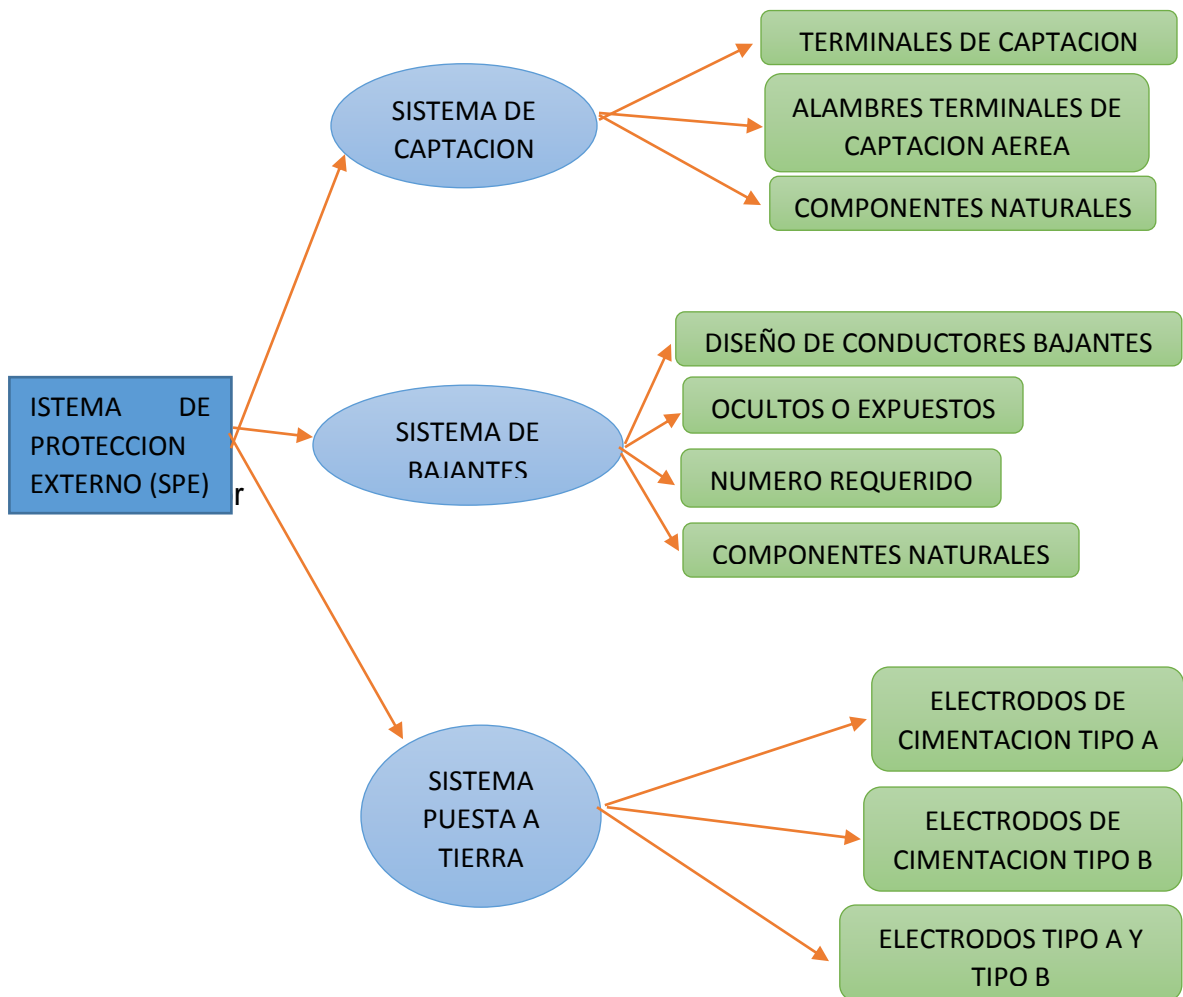
**Figura 1. Sistema integral de protección contra rayos (SIPRA).**



<sup>5</sup> Descarga eléctrica atmosférica: conocido en términos coloquiales como rayo.

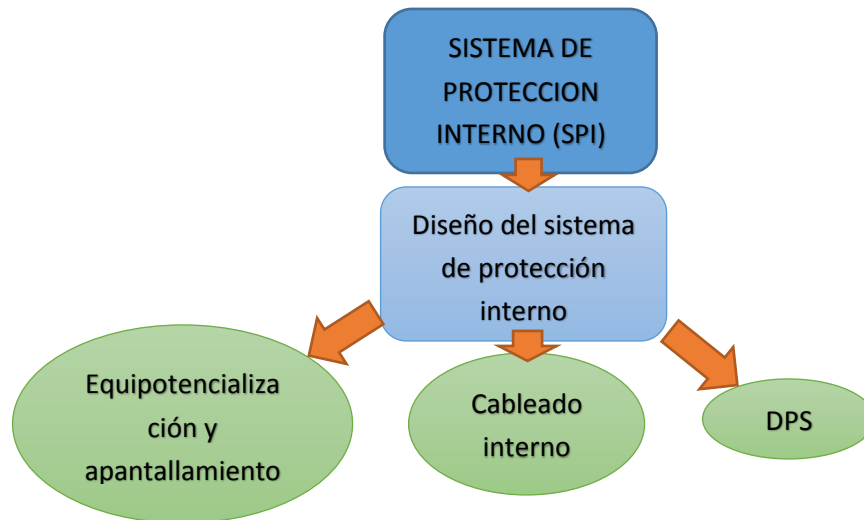
**2.4.1 Sistema de protección externo (SPE).** Se denomina sistema de protección externo a los elementos ubicados sobre la estructura a proteger, y su objetivo principal es captar los rayos previniendo que impacten con la estructura a proteger y conducir de manera segura la corriente del rayo para que no se produzca alguna chispa o cause algún daño a las instalaciones en general. Esta protección cuenta con un sistema de captación, un sistema de conductores bajantes y un sistema de puesta a tierra.

**Figura 2. Sistema de protección externo.**



**2.4.2 Sistema de protección interno (SPI).** Se denomina sistema de protección interno a los elementos y medidas que constituyen un punto de equipotencialización y una distancia prudente de separación entre ellos, con el fin de reducir y evitar la presencia de chispas o fugas de corriente al interior de la estructura a proteger y que puedan llegar a afectar el personal operativo y los equipos de control. También reduce las sobretensiones que puedan producirse por descargas en las proximidades de la instalación o por maniobras en los elementos de corte de los circuitos de potencia, también en el arranque de motores y otras máquinas de gran potencia.

**Figura 3. Sistema de protección interno.**



**2.4.3 Sistema de prevención de riesgos (SPR).** El riesgo de impacto o alcance que tienen los seres vivos es mayor cuando permanecen en movimiento y al aire libre.

**2.4.4 Periodicidad de la inspección del SIPRA.** Es recomendable inspeccionar el sistema de protección cada seis meses para ajustar las partes móviles que por efectos del viento y vibraciones producidas en el proceso se ven afectadas.

La inspección también se recomienda cada vez que se realicen reparaciones o cambios en la estructura o que se evidencien impactos sobre el sistema.

## 2.5 NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (NPR)

El uso del nivel de protección contra rayos para el diseño de medidas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas va de acuerdo con el conjunto de parámetros de la corriente de rayo, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Nivel de protección contra rayos.**

<b>Nivel de Protección contra rayos NPR</b>	<b>Características</b>	<b>Corriente pico [kA]</b>
I	Nivel cerámico elevado Gran concentración de personas Riesgo elevado de pérdidas humanas No admite fallas en los servicios esenciales	200
II	Nivel cerámico medio Riesgo elevado de pérdidas humanas Admite fallas en los servicios esenciales	150
III o IV	Nivel cerámico bajo o tolerable Riesgo medio o bajo de pérdidas humanas Admite fallas en los servicios esenciales	100

**Fuente:** NTC 4552 – 1

A cada NPR le corresponden una serie de características que contemplan una corriente pico de rayo y se usa para diseñar los componentes de la protección.

El primer paso para diseñar un SIPRA es analizar el riesgo y establecer un NPR en el nivel correspondiente por los factores que se presenten en la zona como son la geometría de la estructura, el número máximo de personas que la pueden llegar

a ocupar y las pérdidas económicas, humanas, culturales y de servicios esenciales para el funcionamiento en general.

### 3. SISTEMA DE CAPTACIÓN

El sistema de captación hace parte del SPE y se encarga de interceptar las descargas atmosféricas o rayos que tengan como propósito impactar la estructura, donde posteriormente serán dirigidos a tierra de una forma segura.

Estos elementos constituyen una resistencia menor a la del ambiente, lo que hace que al presentarse la descarga, esta impacte en el elemento. Estos pueden ser:

- Varillas tipo Franklin o bayonetas.
- Cables colgantes.
- Malla de conductores.

**Tabla 2 Dispositivos de captación y normatividad.**

<b>SISTEMAS DE PROTECCIÓN</b>	<b>NORMAS</b>
Varilla tipo Franklin o bayonetas	IEC 62305-3, 2005 / NTC 4552-3, 2008
Cables colgantes	IEC 62305-3 2005 / NTC 4552-3, 2008
Malla de conductores	IEC 62305-3 2005 / NTC 4552-3, 2008

#### 3.1 DISPOSITIVOS DE CAPTACIÓN

**3.1.1 Puntas tipo Franklin.** El objetivo principal es presentar una resistencia mínima a la de otros componentes a su alrededor para que la descarga impacte directamente, donde posteriormente sea conducida a tierra.

Para lograr este objetivo las varillas o bayonetas son fabricadas en cobre solido o en forma de tubo, también se encuentran en aluminio, acero o mezcla de estos últimos. Lo importante es que contengan 0% de material radioactivo.

La NTC 4552 establece las longitudes mínimas de acuerdo a las distancias de separación y al diámetro de las puntas.

La altura debe ser como mínimo 25cm por encima de las partes más altas de la estructura para separaciones de 6m y de 60cm para separaciones de 8m. Si llegase a excederse una punta, esta debe sujetarse a por lo menos la mitad de su longitud. Para las varillas solidas el diámetro debe ser de 16 mm y las tubulares de 19mm con espesor de 0,8 mm de las paredes internas. Esto para estructuras no mayores a 25m.

**3.1.2 Cables colgantes.** Estos cables se extienden en la superficie de la estructura con una separación acorde a su modelo geométrico y en sus extremos se conecta con los conductores bajantes para conducir la descarga de impacto a tierra.

## 4. SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES

Tiene como objetivo principal hacer un puente entre el sistema de captación y el sistema de puesta a tierra, y así conducir la corriente atraída de manera segura a la tierra. La cantidad de bajantes y el lugar depende de factores como: el riesgo de impacto por el diseño de la estructura, la división de la corriente y los efectos de perturbaciones en el interior de la estructura. **“Estableciendo que el número de bajantes no debe ser menor a 2”** y su distribución debe ser uniforme de acuerdo a la geometría de la estructura.

### 4.1 BAJANTES

Su objetivo es parcializar las corrientes del rayo que atrae el sistema de captación. Para el cálculo de las bajantes se requiere que sea técnica y económica, ya que entre mayor número de bajantes será mejor la parcialización de la corriente. Para tal cumplimiento se estableció la tabla 6 de acuerdo a las propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas de las mismas.

**Tabla 3. Requerimientos para las bajantes según la altura de la estructura.**

Requerimientos para las bajantes Altura de la estructura	Número mínimo de bajantes	Calibre mínimo del conductor de acuerdo con el material de este:	
		Cobre	Aluminio
Menor que 25 m	2	2 AWG	1/0 AWG
Mayor que 25 m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

Fuente: NTC 4552-3

## 4.2 TIPOS DE SISTEMA DE BAJANTES

Existen dos tipos, los no aislados o unidos directamente a la estructura y los aislados eléctricamente de la estructura.

**4.2.1 Sistema aislado eléctricamente de la estructura.** Es utilizado en estructuras donde la superficie es conductiva y se puede llegar a presentar algún tipo de chispa. Por ejemplo en tanques de almacenamiento de combustibles.

**4.2.2 Sistema no aislado o unido eléctricamente a la estructura.** Es utilizado en estructuras donde la superficie no es conductiva. Por ejemplo en edificios de obra civil.

**Tabla 4. Distancia de separación promedio para conductores bajantes.**

NIVEL DE PROTECCIÓN	DISTANCIA TÍPICA PROMEDIO [m]
Nivel I	10
Nivel II	10
Nivel III	15
Nivel IV	20

Fuente: NTC 4552- 3

Con base en lo expuesto anteriormente se deben tener en cuenta los requerimientos adoptados por la NTC 4552-3

- Las distancias entre bajantes no deben ser menor a un tercio de las distancias presentadas en la tabla 4.
- Es aceptable una variación en las distancias de separación de hasta 20% siempre y cuando se mantenga la media según lo establecido en la tabla 4.
- Para estructuras que dentro de su construcción cuente con patios cerrados con más de 30m de perímetro, se hace necesaria la instalación de conductores bajantes.

- Se deben instalar anillos equipotenciales para estructuras con alturas superiores a los 20m que deben interconectar los bajantes en dichos niveles; la distancia entre los anillos equipotencializadores debe ser mínimo de 10m.

## 5. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

El sistema de puesta a tierra, hace parte fundamental del SIPRA y es en últimas el que transporta la corriente al terreno. Además sirve como referencia para todos los equipos instalados, previene las tensiones de paso y asegura la integridad de los seres vivos disipando la corriente de forma rápida y segura.

Para efectuar un diseño de puesta a tierra la NTC 4552-3 recomienda tener en cuenta:

- La resistividad del suelo.
- La acidez del suelo (ph).
- La estructura física del suelo (rocas, arenas, arcillas).
- La forma de interconexión con las otras puestas a tierra y los sistemas de protección contra corrosión.
- Los efectos adicionales en otros sistemas eléctricos y de comunicaciones.

### 5.1 Tensiones de paso y de contacto

**5.1.1 Tensión de contacto.** Es la tensión que se produce al contacto del individuo con una estructura normalmente con potencial nulo.

**5.1.2 Tensión de paso.** Es la tensión que se presenta en dos puntos de la superficie del terreno durante una falla a una separación de aproximadamente un metro

## **5.2 FUNCIONES DE UN SPT DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

Las principales funciones que debe cumplir un SPT son:

- Dispersar corrientes de rayo
- Controlar potenciales

## **5.3 OBJETIVOS DE UN SPT**

Los objetivos principales son:

- Proteger los seres vivos reduciendo las tensiones de paso y de contacto a valores seguros.
- Disipar la corriente para que no genere daños en la estructura.
- Limitar las perturbaciones electromagnéticas.
- Servir de punto de referencia para el sistema eléctrico.

## **5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN GRANDES ÁREAS.**

En terrenos donde existen una cantidad de estructuras, por lo general se dan en el campo industrial, se requiere obtener una baja impedancia por lo que se recomienda instalar electrodos de cimentación y adicional configuraciones tipo A y B.

También es recomendable instalar puntos de inspección en las bajantes en los electrodos de cimentación e interconexiones en el sistema para realizar supervisiones periódicamente.

## 6. APLICACIÓN PRÁCTICA EN UNA ESTACIÓN MODELO

Para efectos de este proyecto se establece un modelo de estación media, con el propósito de realizar un dimensionamiento promedio y poder generar una visión en el dimensionamiento de todos los sistemas de protección externo para estaciones de menor o mayor capacidad.

### 6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La estación modelo cuenta con una capacidad de almacenamiento de **8500 barriles por día** y se localizó en zona rural a una altitud con **DDT promedio de 7**, el cual representa un valor medio.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es el transporte y almacenamiento de sustancias combustibles. Esta como todas las estaciones de fluido cuenta con sistemas eléctricos y electrónicos, acometida subterránea de energía eléctrica, sistemas de comunicación y tuberías de agua, gas y crudo.

Figura 4. Vista Planta, modelo general.

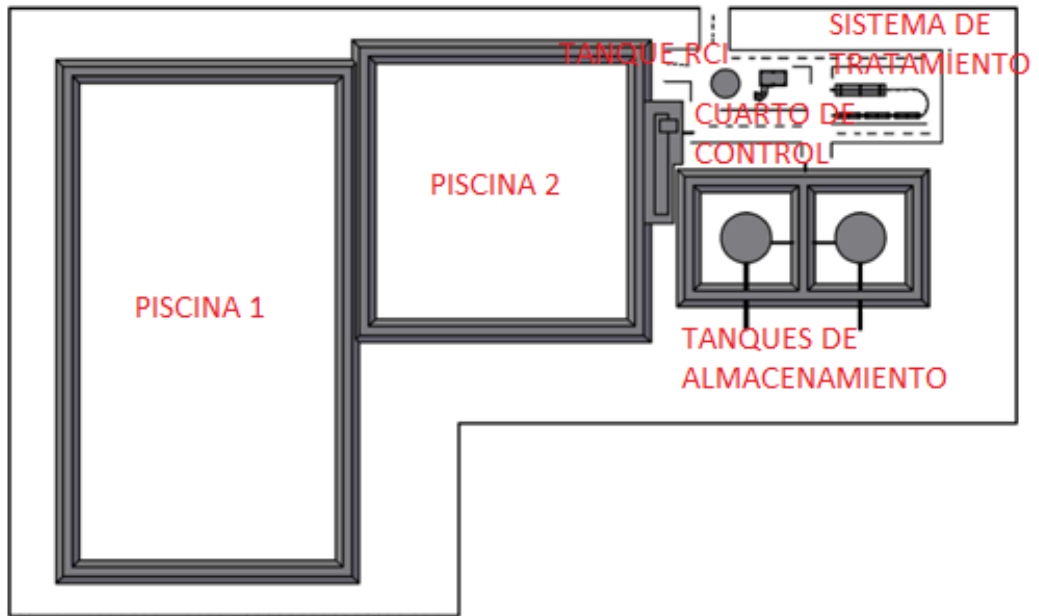
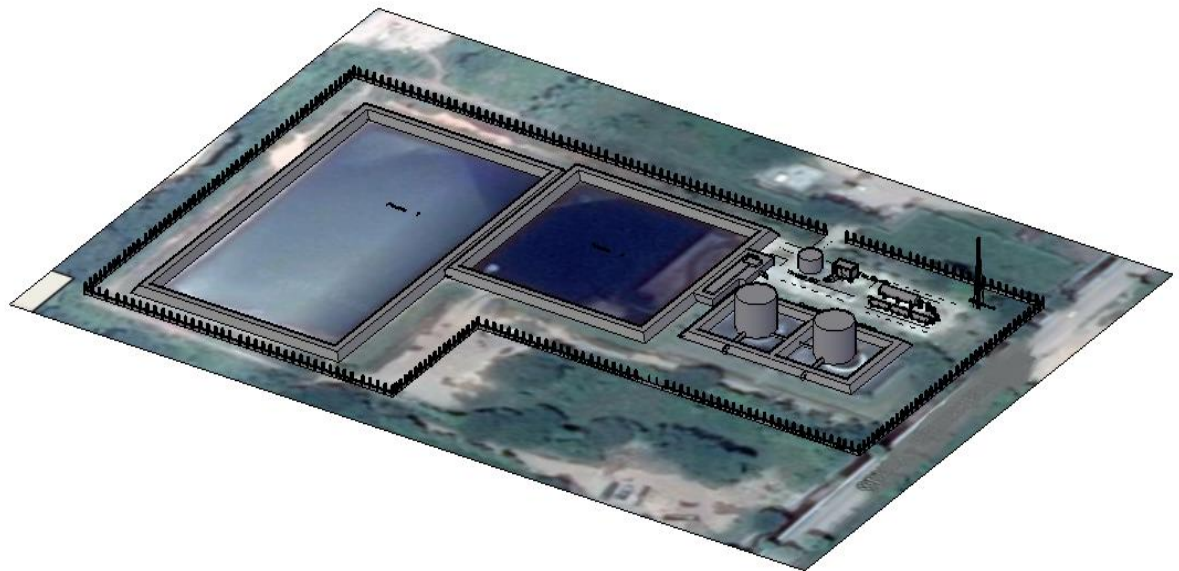


Figura 5. Vista Isométrica, modelo general



## **6.2 NORMATIVIDAD**

6.2.1 Normatividad vigente. Las normas colombianas NTC 4552-1,2 y 3 adoptadas de las normas internacionales IEC 62305-1,2 y 3, están vigentes en todo el tema de conexiones a tierra, fallas a tierra, protección de personas, drenaje de estática, conexiones equipotenciales y los sistemas de apantallamiento que protejan estructuras que almacenen combustibles, pero considerando las nuevas API RP 545.

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), en su última actualización de 2013 está vigente y se deben seguir sus recomendaciones.

**6.2.2 Normatividad no vigente.** la norma API RP 2003 no cumple con los aspectos de protección en tanques de almacenamiento para evitar incendios, fue reemplazada por la API RP 545.

## **6.3 ESPECIFICACIONES DE LOS TANQUES**

La estación modelo cuenta con tres tanques cilíndricos de tipo techo fijo donde el cuerpo del tanque está unido mecánicamente al techo, lo que hace que exista un contacto equipotencial eléctrico permanente. Estos tanques se emplean para el almacenamiento de sustancias no volátiles o de bajo contenido de ligeros como es en este caso el petróleo crudo y agua. Dos tanques son utilizados para el almacenamiento del petróleo crudo y uno para el sistema de red contra incendio, (almacenamiento de agua).

Estos tanques cuentan con cámara radar con cubierta de espesor menor a 4.8mm de acero, ubicada a una altura mayor a la corona de la vasija, por lo tanto no es una estructura tipo “pararrayos natural” y se debe apantallar según la NFPA 780

El espacio inmediato a la tapa del sistema de medición manual se clasifica como zona 0 según la norma internacional y según las normas norteamericanas en clase I División 1 grupo D2. Lo que significa que al existir elementos que superen la corona de la vasija del tanque se deben apantallar ante rayos directos los elementos existentes sobre la plataforma de la cámara radar.

En cuanto a las luminarias instaladas sobre la plataforma de la cámara radar de tipo intemperie con espesor menor a 7 mm de aluminio se debe apantallar ya que no es una estructura tipo “pararrayos natural” según la NFPA 780.

El apantallamiento de tanques de techo flotante, se debe diseñar sin mezcla de normas y con sistemas captadores de rayos avalados por normas internacionales IEC 62305-1, 2, y 3.

### **6.3.1 Clasificación de áreas**

- En los tanques.

Teniendo en cuenta que son tanques atmosféricos de techo fijo y flotante, el volumen entre el techo flotante y la corona de la vasija corresponden a una clasificación Clase I, División 1, Grupo D (según la API RP 500 edic. 2 nov 1997) y considerando una altura de hasta 3 metros desde la posición de la corona del tanque donde se pueden encontrar vapores de crudo y el exterior de la pared vertical de la vasija corresponden a una clasificación Clase I División 2 Grupo D.

- En las piscinas, cuarto de control, diques y demás.

La superficie del piso de los diques de tanques y piscinas, diques en general y demás zonas corresponde a una clasificación Clase I División 2 Grupo D.

## 6.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO SPE

El diseño del sistema de protección externo contra rayos consta de los siguientes pasos:

- Evaluación del nivel de riesgo para la estructura.
- Diseño del sistema de captación.
- Diseño del sistema de conductores bajantes.
- Diseño de la malla de puesta a tierra.

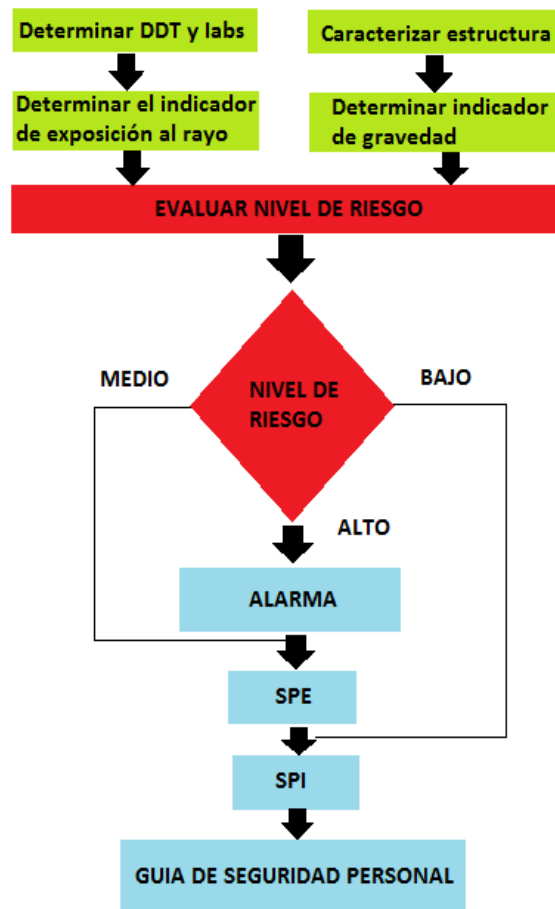
**6.4.1 Evaluación del nivel de riesgo.** El RETIE estipula que se debe realizar la valoración del riesgo sobre una norma de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2, la cual sigue las directrices de la IEC 62305-2 y en la cual se ha adoptado el parámetro de corriente de la incidencia del rayo a condiciones tropicales.

**6.4.1.1 Calculo del nivel de riesgo de acuerdo a la NTC 4552.** La evaluación del nivel de riesgo se realiza para determinar si las instalaciones requieren de un sistema de protección contra rayos y para tomar medidas de mitigación a un nivel bajo.

El nivel de riesgo se obtiene de la ponderación de los indicadores de exposición al rayo y de la gravedad que puede implicar un impacto directo o indirecto de rayo sobre una estructura.

Para la evaluación del nivel de riesgo se tomó como base el siguiente diagrama de flujo, el cual evalúa el nivel de riesgo y establece las acciones de protección

Figura 6. Evaluación del riesgo.



Fuente: NTC 4552, modificado por el autor.

- **Determinación de DDT:** En la descripción general del proyecto se tomo un valor medio de 7.
- **Determinación de labs:** Para este valor tomaremos un valor medio adoptado de Lee et. Al. 1979 y referenciado en la NTC 4552-1, de 43 kA.

**Tabla 5. Mediana del valor pico de la corriente de retorno del rayo en diferentes zonas del planeta.**

PAIS	MEDIANA (kA)
ESTADOS UNIDOS	23
SUIZA	30
SUECIA	30
POLONIA	31
MALASIA	36
BRASIL	43
RODESIA	42
<b>COLOMBIA</b>	<b>43</b>

Fuente: NTC 4552-1, modificado por el autor.

- **Determinación del indicador de exposición al rayo:** De acuerdo a la siguiente tabla podemos establecer un valor para este indicador correspondiente a **ALTOS**.

**Tabla 6. Indicador de exposición al rayo.**

Densidad de descargas a tierra (Descargas/Km <sup>2</sup> -año)	Corriente pico absoluta promedio (kA)		
	40 ≤ labs	20 ≤ labs < 40	labs < 20
30 ≤ DDT	<b>SEVEROS</b>	<b>SEVEROS</b>	<b>ALTOS</b>
15 ≤ DDT < 30	<b>SEVEROS</b>	<b>ALTOS</b>	<b>ALTOS</b>
5 ≤ DDT < 15	<b>ALTOS</b>	<b>MEDIOS</b>	<b>MEDIOS</b>
DDT < 5	<b>MEDIOS</b>	<b>BAJOS</b>	<b>BAJOS</b>

Fuente: NTC 4552, modificado por el autor.

- **Caracterización de la estructura:** esta caracterización se determina con el valor de la suma de los sub-indicadores de las siguientes tablas, que dio como resultado un valor de **40**.

**Tabla 7. Sub-indicador relacionado con el uso de la estructura.**

CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS	EJEMPLO DE ESTRUCTURA	INDICADOR
A	Teatros, centros educativos, Iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones.	40
<b>B</b>	<b>Edificios de oficinas, hoteles, viviendas, grandes industrias, áreas deportivas cubiertas.</b>	<b>30</b>
C	Industrias pequeñas y medianas, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos.	20
D	Estructuras no habitadas	0

Fuente: NTC 4552, modificado por el autor.

**Tabla 8. Sub-indicador relacionado con el tipo de estructura**

TIPO DE ESTRUCTURA	INDICADOR
No metálica	40
Mixta	20
<b>Metálica</b>	<b>0</b>

Fuente: NTC 4552, modificado por el autor.

**Tabla 9. Sub-indicador relacionado con la altura y el área de la estructura**

ALTURA Y ÁREA DE LA ESTRUCTURA	INDICADOR
Área menor a 900 m <sup>2</sup>	
Altura menor a 25 m	5
Altura mayor o igual a 25 m	20
Área mayor o igual a 900 m <sup>2</sup>	
<b>Altura menor a 25 m</b>	<b>10</b>
Altura mayor o igual a 25 m	20

Fuente: NTC 4552, modificado por el autor.

Según la clasificación de la estructura y utilizando la ecuación de indicador de gravedad se obtuvo el siguiente resultado:

$$IG = IUSO + IT + IAA$$

$$IG = 30 + 0 + 10$$

$$IG = 40$$

IUSO = Sub-indicador relacionado con el uso de la estructura.

IT = Sub-indicador relacionado con el tipo de estructura.

IAA = Sub-indicador relacionado con la altura y el área de la estructura.

- **Determinación del indicador de gravedad:** para este indicador tenemos un valor de 40 que corresponde al rango de 36 a 50 en la siguiente tabla con un indicador de gravedad **BAJO**.

**Tabla 10. Indicador de Gravedad**

Resultado de la suma de sub-indicadores de estructura	Indicador de Gravedad
0 a 35	Leve
<b>36 a 50</b>	<b>Bajo</b>
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

**Fuente:** NTC 4552, modificado por el autor.

A continuación se ponderan los resultados obtenidos en la siguiente matriz para obtener el nivel de riesgo presente en la estación de almacenamiento de crudo.

**Tabla 11. Matriz de niveles de riesgo.**

Parámetros/Gravedad	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
<b>Severo</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>
<b>Alto</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>
<b>Medio</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>	<b>BAJO</b>
<b>Bajo</b>	<b>MEDIO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>	<b>BAJO</b>	<b>BAJO</b>

**Fuente:** NTC 4552, modificado por el autor.

De acuerdo con el nivel de riesgo obtenido en la matriz se deben adoptar las siguientes recomendaciones indicadas en la siguiente tabla para un nivel de riesgo **MEDIO**.

**Tabla 12. Acciones recomendadas según el nivel de riesgo.**

Nivel de Riesgo	Acciones Recomendadas
Nivel de Riesgo Bajo	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050
<b>Nivel de Riesgo Medio</b>	<b>SPI</b>
	<b>Cableados y PT según NTC 2050</b>
	<b>SPE</b>
Nivel de Riesgo Alto	SPI
	Cableados y PT según NTC 2050
	SPE
	Plan de Prevención y Contingencia

**Fuente:** NTC 4552, modificado por el autor.

*Nota: La norma NTC 4552-3, en su numeral D.1 del Anexo D, especifica que donde se ha evaluado el riesgo de acuerdo a la NTC 4552-2, recomienda implementar un SIPRA nivel II. En este mismo numeral especifica que el uso de SIPRA nivel I es permitido en todo caso, más aun si existen sustancias sensibles a los rayos, por lo tanto para efectos de este proyecto donde los principales componentes son gases y líquidos inflamables, se establece un **SIPRA NIVEL I**.*

**6.4.2 Diseño del sistema de captación por el método de la esfera rodante** Uno de los métodos a emplear en este análisis comparativo es el de la esfera rodante MER, porque es considerado altamente efectivo para estructuras con diseños arquitectónicos complejos, como lo es en este caso. El proceso es tomar una esfera de radio determinado por el nivel de SIPRA calculado y hacer un barrido en todas las direcciones sobre la superficie de la estructura, con el propósito de evitar posibles impactos en los bordes, esquinas o partes salientes de la estructura, siendo estos lugares los más críticos.

Este método se recomienda para estructuras menores a 55m, que para el caso es funcional ya que la estructura de mayor altura es la torre de vapores con 20m y en general presenta una estructura arquitectónica muy compleja.

A continuación se describen los parámetros de diseño.

- NPR: I
- Corriente pico mínima: 17 kA
- Radio de la esfera rodante: 35 m
- Geometría de la estructura: compleja

Los datos de corriente mínima y radio de la esfera rodante se toman de la siguiente tabla para el NPR I.

**Tabla 13. Valores mínimos de parámetros del rayo al radio de la esfera rodante correspondiente a cada NPR.**

Criterio de Interceptación			NPR			
	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente Pico Mínima	I	kA	17	21	26	30
Radio Esfera Rodante	R	m	35	40	50	55

**Fuente:** NTC 4552-3, modificado por el autor.

**6.4.2.1 Cálculos MER.** Después de obtener los parámetros de diseño se procede a la simulación en el programa AUTOCAD (versión gratuita para estudiantes 30 días).

De acuerdo al análisis se hizo rodar la esfera de 35m sobre las estructuras presentes, empezando desde las zonas de mayor altura y evitando que ésta tocara algún punto de la estructura. En el punto donde intento hacer contacto se instaló una punta de captación.

A continuación se ilustra el corrimiento de la esfera, cabe resaltar que en el área de tratamiento se hizo necesario la instalación de una estructura tipo mástil de 4 metros para la protección de esta zona.

**Figura 7. Perfiles Frontal y Lateral, MER en los tanques de almacenamiento.**

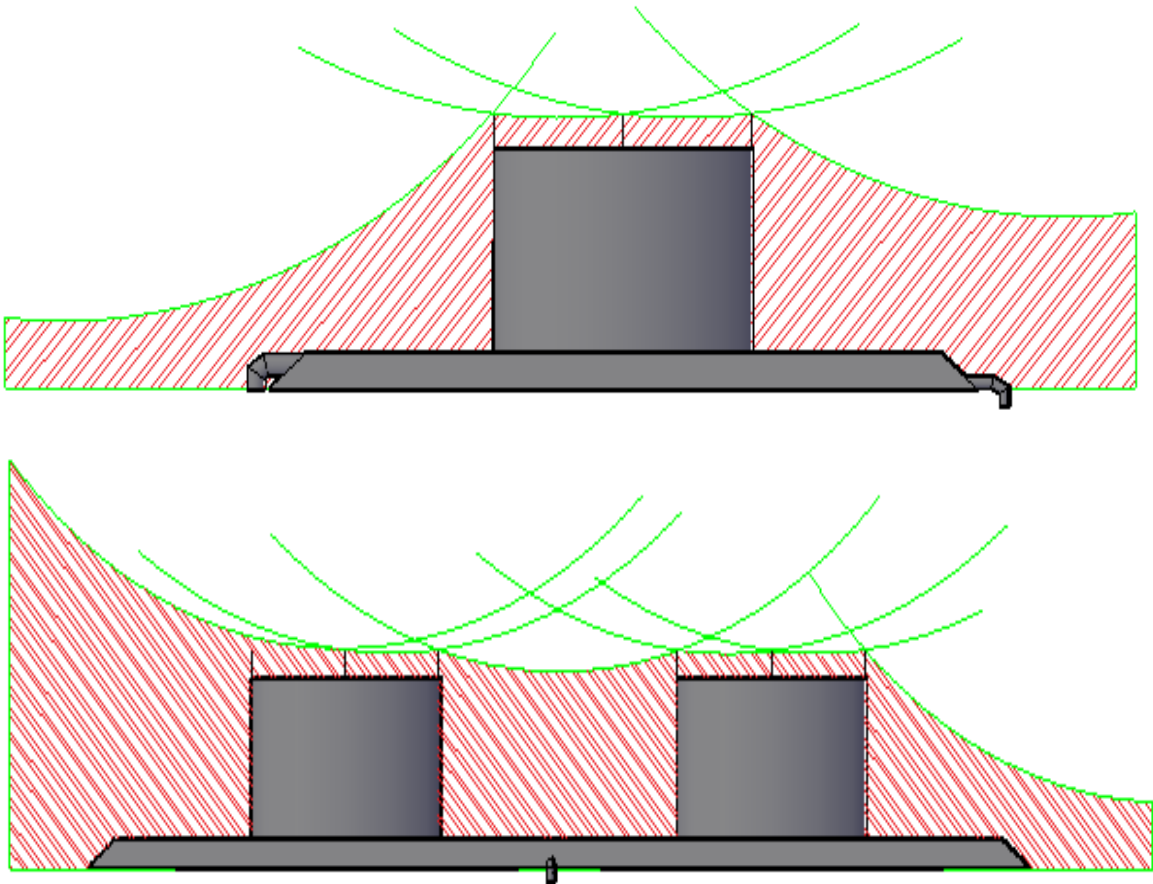


Figura 8. Perfiles frontal y lateral MER en la zona de tratamiento, cuarto de control y tanque del sistema de RCI.

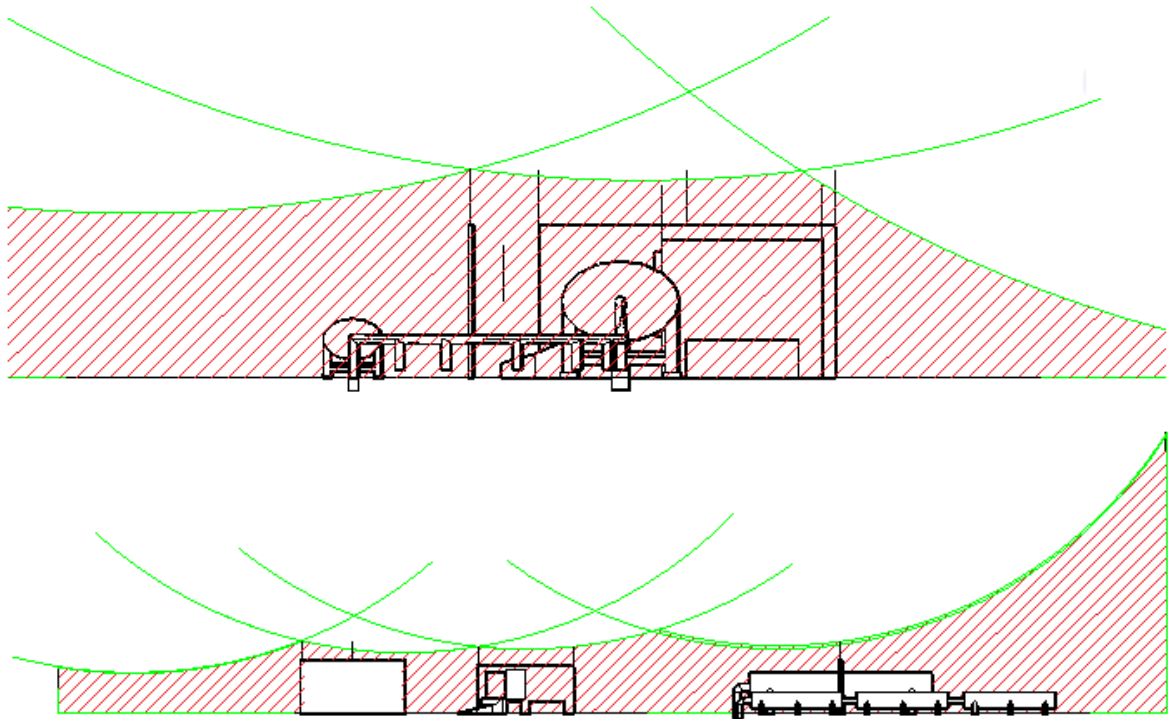
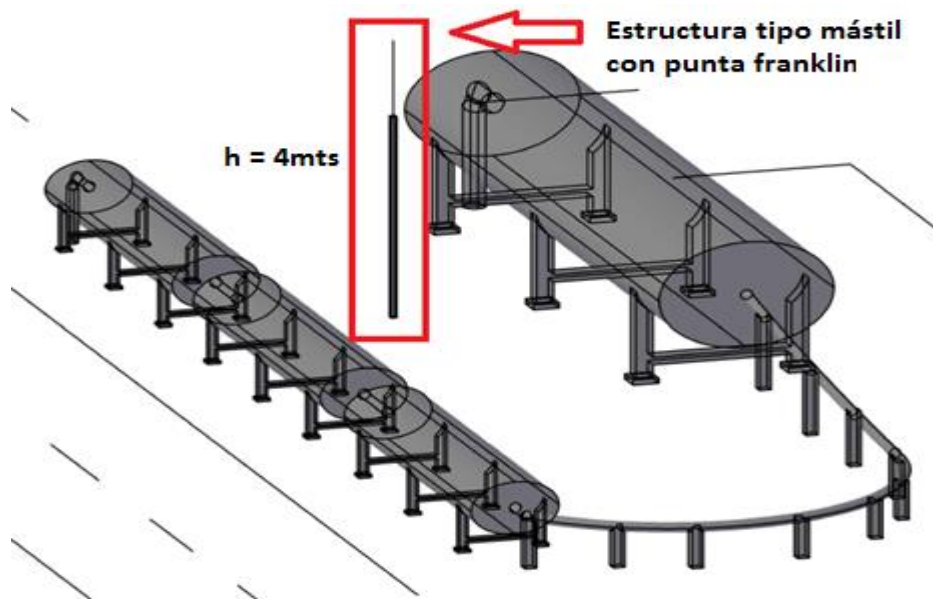
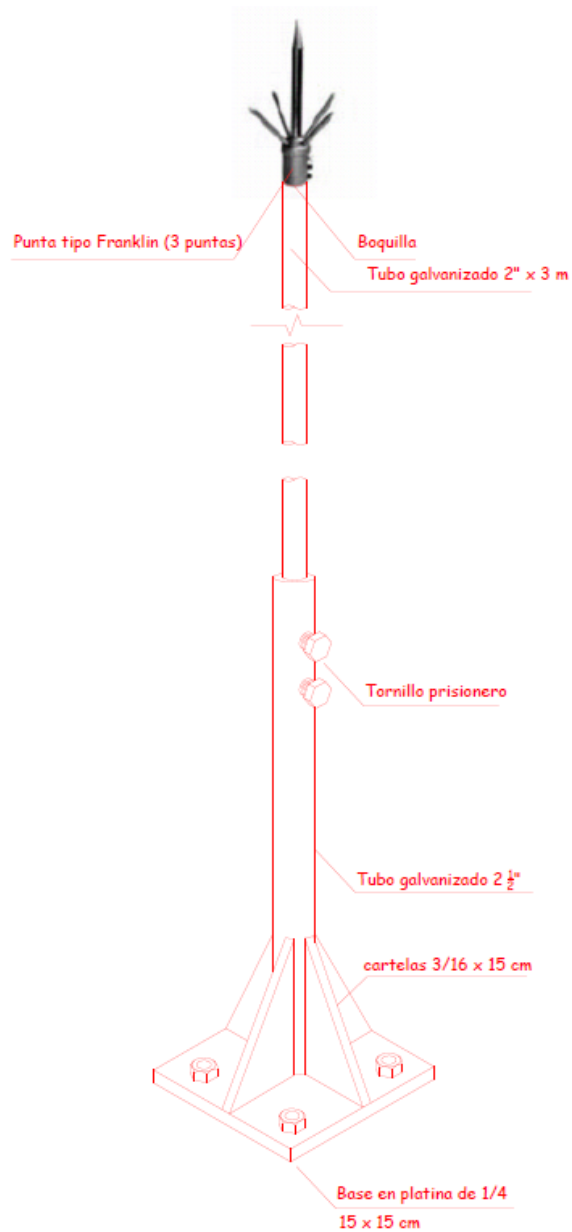


Figura 9. Mástil en la zona de tratamiento.



**Figura 10. Detalle del mástil**



**6.4.2.2 Localización de puntas de captación MER** Esta localización se desarrolla teniendo en cuenta que se deben proteger principalmente las puntas y esquinas en las estructuras, debido al alto porcentaje de ocurrencia, como se relaciona en la siguiente tabla.

**Tabla 14. Porcentaje de impacto directo en estructuras.**

Localización del impacto	Porcentaje de ocurrencia [%]
Puntas y esquinas	> 80
Bordes horizontales	> 10
Bordes verticales	< 5
Superficies planas	< 1

**Fuente:** Tomado de [3].

- En los tanques de almacenamiento, tanque de RCI y caseta de control las puntas captadoras son tipo Franklin sencillos de 0,5 [m] de altura y 20[mm] de diámetro en cobre, más un soporte estilo mástil de 1[m] de altura, de acero galvanizado en caliente, para una altura neta de 1,5 [m], y se utiliza fijación tipo base aislado en material polietileno reticulado.
- La punta en la zona de tratamiento es de tipo Franklin de tres puntas con boquilla y soporte estilo mástil de 3[m] apoyada en tubo galvanizado en caliente de 2 ½” con una base cuadrada de 15 X 15 [cm] y fijación al piso.
- En la chimenea de gases, las puntas captadoras tipo Franklin de tres puntas con boquilla y soporte estilo mástil de 3[m] de altura, de acero galvanizado en caliente con fijación tipo anclaje.

**Figura 11. Puntas captadoras en los tanques de almacenamiento.**

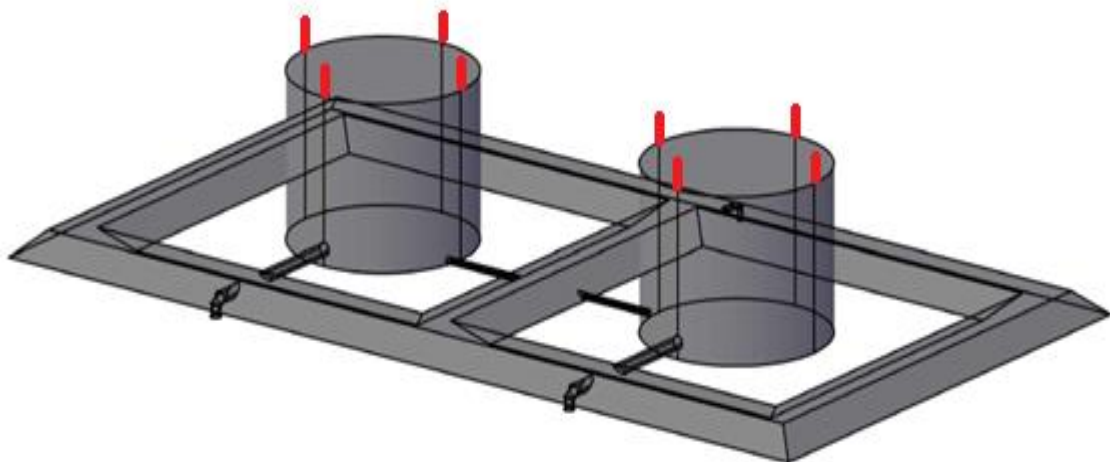


Figura 12. punta captadora en la zona de tratamiento.

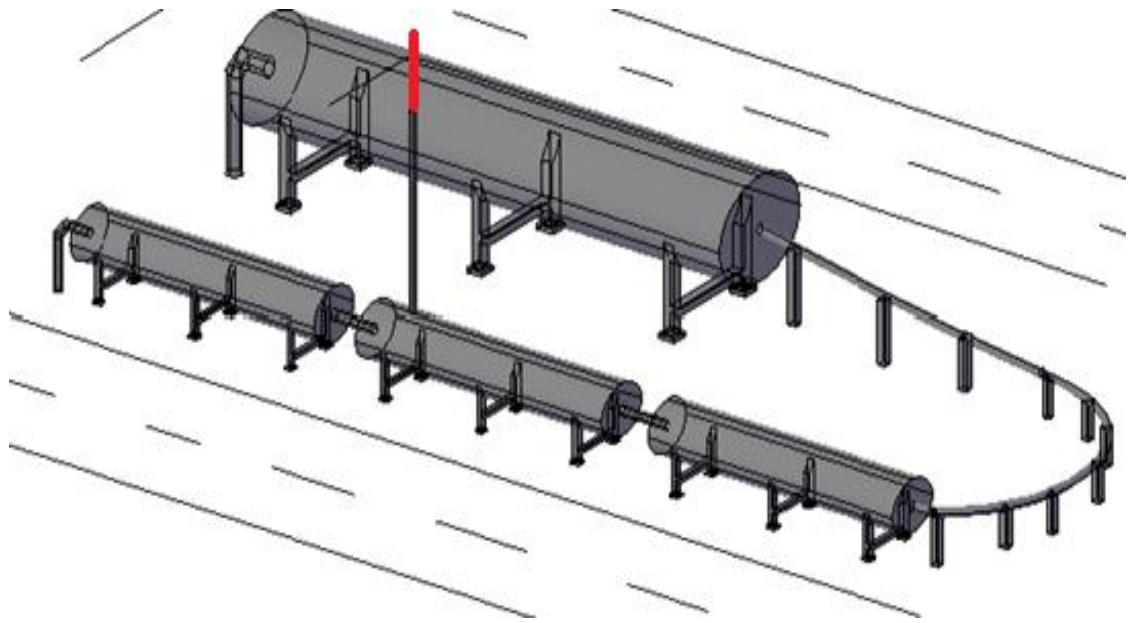
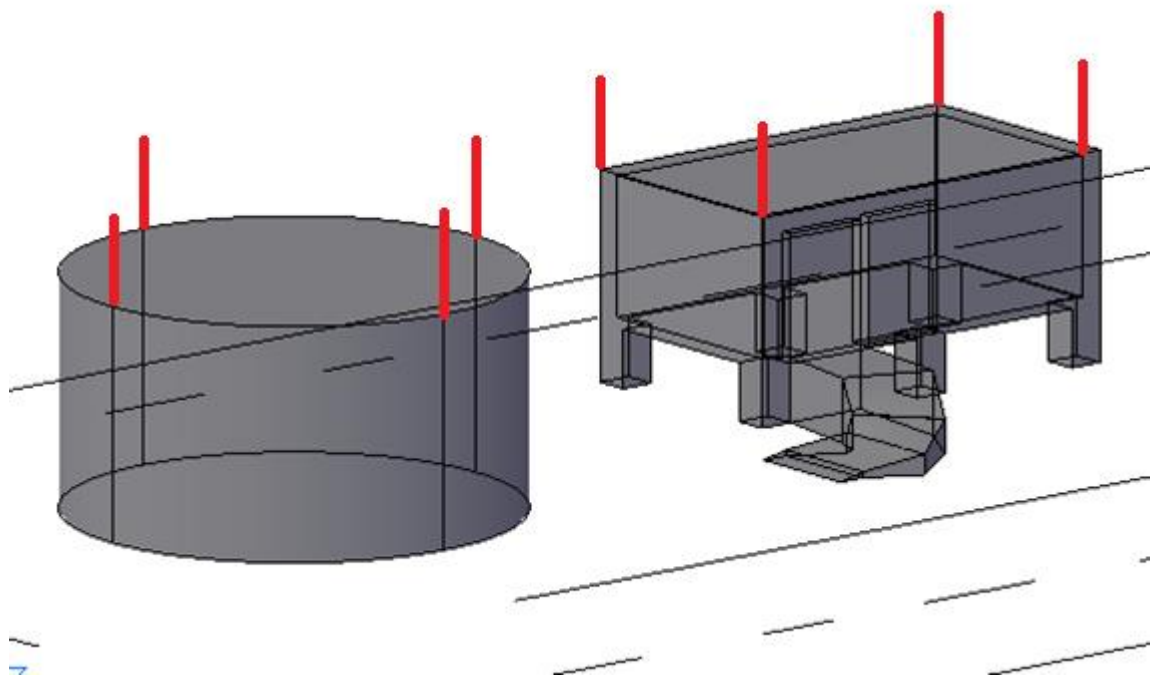


Figura 13. Puntas captadoras en tanque de RCI y cuarto de control.



**6.4.3 Diseño del sistema de captación por el método alternativo.** El método alternativo consiste en encerrar la estructura con una malla conductora, para de este modo proteger todas las zonas de posibles impactos de rayo.

Se procede identificando las zonas de alto riesgo para posibles incendios, de tránsito de personas, de presencia de sustancias inflamables y se procede a clasificar las áreas para posteriormente hacer un análisis y diseñar la protección.

**6.4.3.1 Cálculos método alternativo.** Para este método se plantea un diseño estratégico de ubicación de las estructuras alrededor de la zona a proteger.

**6.4.3.2 Instalación del sistema de captación método alternativo.** De acuerdo con el diseño de este sistema de captación se plantea:

- En los tanques de almacenamiento: seis torres auto-soportadas metálicas galvanizadas de 15[m] de altura, un soporte tipo mástil de 1[m] de altura en acero galvanizado en caliente y una punta captadora tipo franklin sencilla de 0,5 [m] de altura en cobre, para una altura neta de 16,5 [m].
- En la chimenea de gas un soporte tipo mástil de 2[m] de altura en acero galvanizado y una punta captadora de 0,5 [m] de altura tipo franklin sencilla de cobre, para una altura neta de 2,5 [m].
- La caseta de control cuenta con cuatro soportes tipo mástil a placa de 4[m] de altura en material de acero galvanizado en caliente y respectivamente cuatro puntas captadoras tipo franklin de 0,5 [m] de altura en cobre, para una altura neta de 4,5 [m].
- En los tanques de procesamiento se muestran seis soportes tipo mástil placa de 4[m] de altura en material de acero galvanizado en caliente y respectivamente seis puntas captadoras tipo franklin de 0,5 [m] de altura en cobre, para una altura neta de 4,5 [m].

Figura 14. Configuración en tanques de almacenamiento.

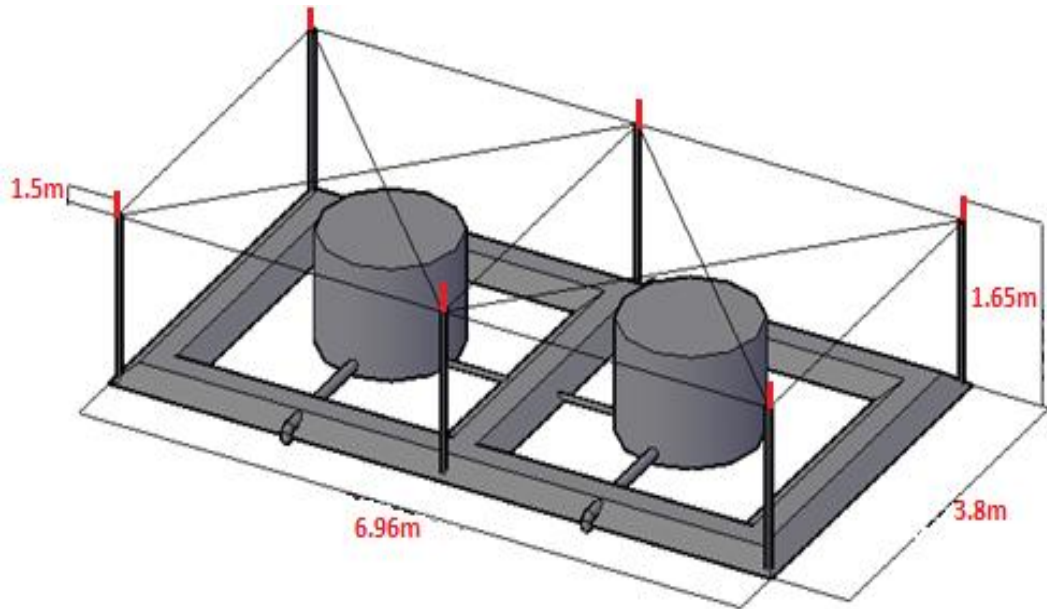


Figura 15. Configuración en cuarto de control.

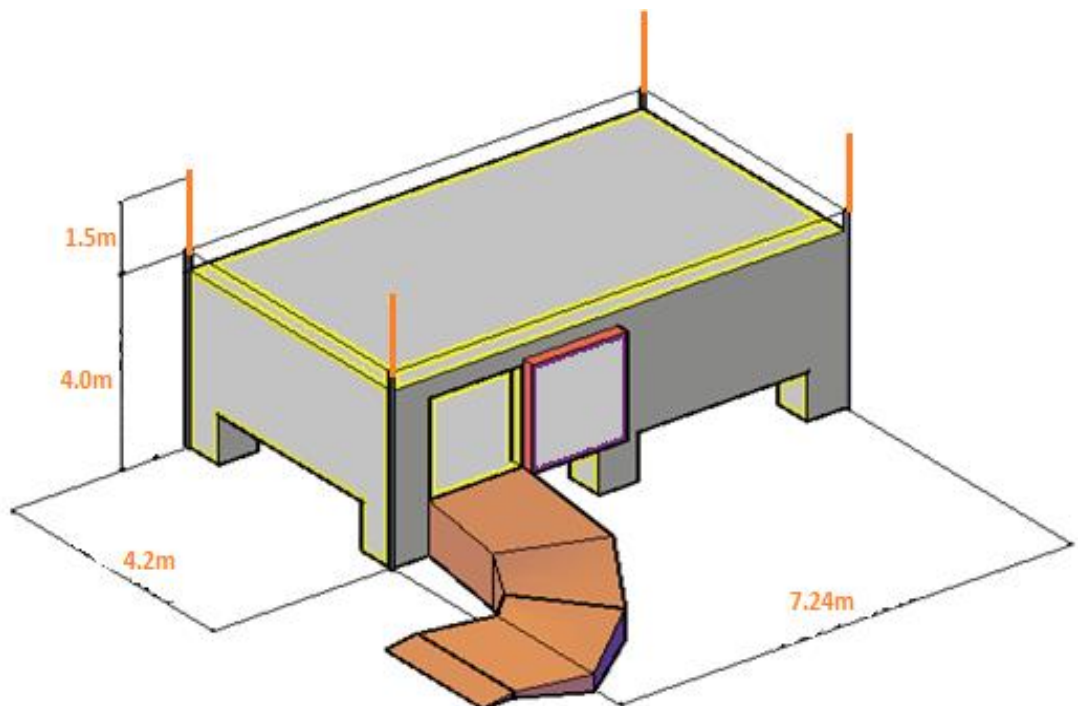


Figura 16. Configuración en zona de tratamiento.

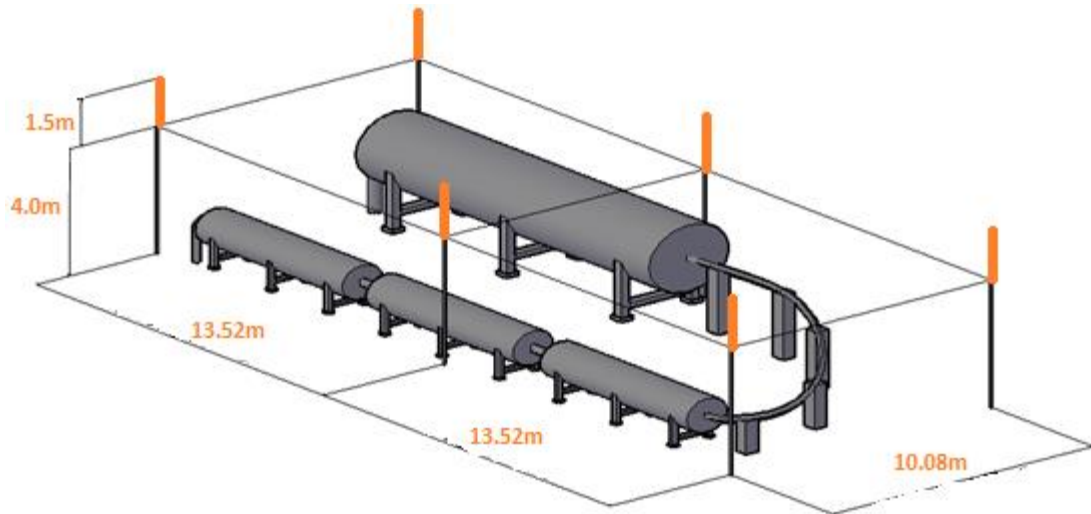
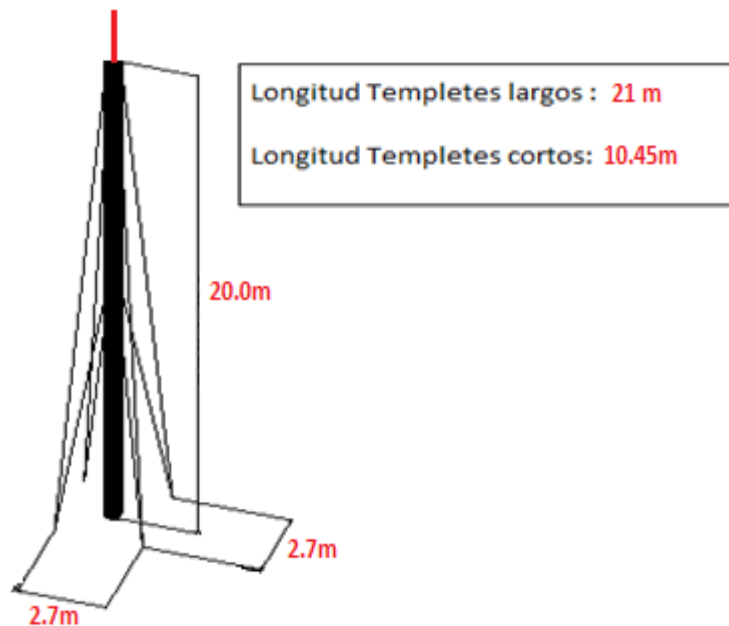


Figura 17. Configuración en chimenea.



**Nota:** Los Templetes actúan como bajantes naturales, estos son fabricados en acero inoxidable trenzado de sección  $50 \text{ mm}^2$ , como se indica en la tabla 5 (Material, configuración y mínima área de la sección transversal para cables o varillas del sistema de captación y los conductores bajantes) de la NTC 4552-3

**6.4.4 Diseño del sistema de conductores bajantes, método esfera rodante y método alternativo.** Los conductores bajantes son el puente de unión entre el sistema de captación y el sistema de puesta a tierra. Su función principal es la de transportar la corriente de rayo de forma segura a un medio donde pueda ser disipada. En cuanto a su implementación, existe una cantidad mínima de conductores bajantes de acuerdo a la altura de la estructura, un calibre y una distancia mínima de acuerdo al nivel de protección, es aconsejable ubicarlos equidistantes para derivar la corriente de rayo en varios puntos.

Para ambos métodos se cumplen las siguientes exigencias establecidas en la norma.

En la siguiente tabla se da a conocer la distancia típica promedio para los bajantes de acuerdo al nivel I obtenido en la evaluación de riesgo.

**Tabla 15. Distancia de separación promedio para conductores bajantes.**

<b>Tipo de Nivel de Protección</b>	<b>Distancia Típica Promedio [m]</b>
<b>Nivel I</b>	<b>10</b>
Nivel II	10
Nivel III	15
Nivel IV	20

**Fuente:** NTC 4552-3, modificada por el autor.

A continuación se aprecia el número mínimo de bajantes dependiendo de la altura de la estructura.

**Tabla 16. Requerimientos para las bajantes.**

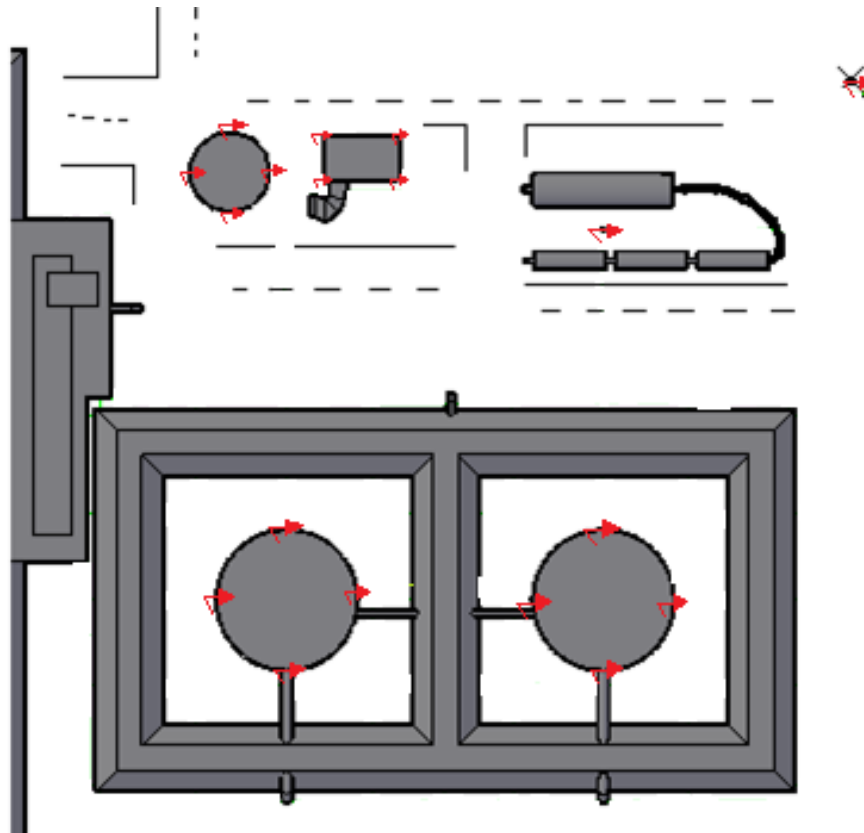
Altura de la Estructura	Número mínimo de Bajantes	Calibre Mínimo del Conductor	
		Cobre	Aluminio
<b>Menor que 25 m</b>	<b>2</b>	<b>2 AWG</b>	1/0 AWG
Mayor que 25 m	4	1/0 AWG	2/0 AWG

**Fuente:** NTC 4552, modificada por el autor.

De acuerdo a esta información se procede a establecer el diseño de las bajantes para cada estructura en su correspondiente método y debido a la dimensión del proyecto se toma la decisión de instalar bajantes en cada una de las puntas de captación instaladas.

**6.4.4.1 Instalación del sistema de conductores bajantes MER.** Por ser una zona de alto riesgo de incendio y de personal, de igual forma en el ámbito económico, en donde cualquier evento de peligro representa grandes pérdidas, por tal motivo se recomienda no escatimar en el presupuesto para la protección en el sistema de bajantes.

**Figura 18. Bajantes localizados en MER**



- Para cada tanque se muestran cuatro cables de cobre trenzado aislado con PVC de sección 50 mm<sup>2</sup> y de longitud 10 m, además dieciséis unidades de tubos de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm con abrazaderas.
- Por seguridad y cumplimiento de la norma se instala protección en el tanque de agua (sistema contra incendios); para este se muestran cuatro cables de cobre trenzado aislado con PVC de sección 50 mm<sup>2</sup> y de longitud 4 m, además 12 unidades de abrazaderas tipo Grapa de nylon para cable Ø8 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.
- Para la caseta de control se muestran cuatro cables de cobre trenzado aislado con PVC de sección 50 mm<sup>2</sup> y de longitud 3,6 m, además 8 unidades de

abrazaderas tipo Grapa de nylon para cable Ø6 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.

- Para la torre se instala dos cables de cobre trenzado aislado con PVC de sección 50 mm<sup>2</sup> y de longitud 4 m, además 8 unidades de abrazaderas tipo Grapa de nylon para cable Ø8 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.
- Para la chimenea se instalan dos cables de cobre trenzado aislado con PVC de sección 50 mm<sup>2</sup> y de longitud 25 m, además 20 unidades de abrazaderas tipo Grapa de nylon para cable Ø8 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.

A continuación se describen los materiales a utilizar en el montaje.

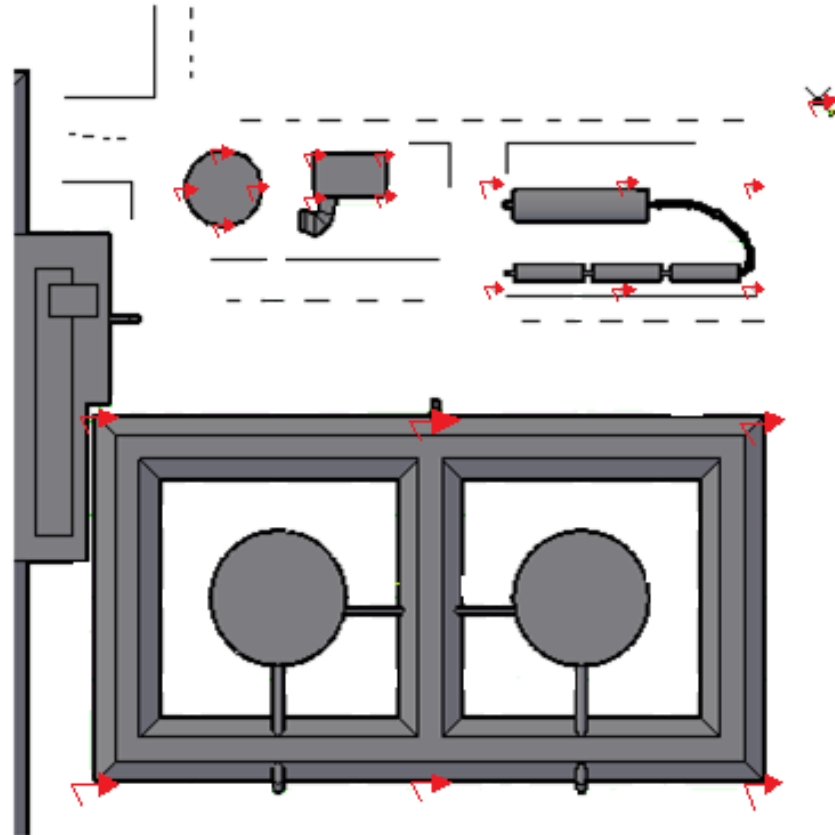
**Tabla 17. Detalle cantidades sistema bajantes MER.**

<b>Zona</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Ref.</b>	<b>Dimensión [mm]</b>	<b>Material</b>	<b>Peso kg</b>	<b>Comentario</b>
Tanque de Crudo	40m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	40m	AT-056G	26X26X2500	Plástico	0,7	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm, con abrazaderas.
Tanque de SCI	12m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	12 uní	AT-044E	23X50X25	Plástico	0,02	Grapa de nylon para cable Ø6 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.
Caseta de Control	12m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	8 uní	AT-044E	23X50X25	Plástico	0,02	Grapa de nylon para cable Ø6 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.
Torre	4m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	4 uní	AT-044E	23X50X25	Plástico	0,02	Grapa de nylon para cable Ø6 - 10

Zona	Cantidad	Ref.	Dimensión [mm]	Material	Peso kg	Comentario
						mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.
Chimenea	25m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	20 uní	AT-044E	23X50X25	Plástico	0,02	Grapa de nylon para cable Ø6 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.

**6.4.4.2 Instalación del sistema de conductores bajantes método ALTERNATIVO.** Es de gran importancia mantener aislado electricamente el sistema por el alto riesgo incendiario que se presenta debido a las sustancias que se manejan en la estación.

**Figura 19. Bajantes localizados en método alternativo.**



- Para los tanques se utiliza un sistema compuesto por seis postes metálicos galvanizados autosoportados de 15m, que sostienen cables ASCR calibre 1/0 AWG o de acero de 10mm de diámetro, suspendidos horizontalmente y diagonalmente arojando una longitud total de 412m, además se utilizan seis cables de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm<sup>2</sup> de longitud de 15 m, además veinticuatro unidades de tubos de protección de polietileno reticulado

de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm con abrazaderas.

- Para la caseta de control se intalan cuatro cables de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm<sup>2</sup> de longitud de 4 m, ademas cuatro unidades de tubos de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm con abrazaderas, que sostienen cables ASCR calibre 1/0 AWG o de acero de 10mm de diametro.
- Para cubrir el area generada por los tanques en la zona de tratamiento se dispone de un sistema compuesto por seis postes metálicos galvanizados autosoportados de 4m, que sostienen cables ASCR calibre 1/0 AWG o de acero de 10mm de diametro, suspendidos alrededor y con una longitud total de 85m), ademas se utiliza seis cables de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm<sup>2</sup> de longitud de 4 m, ademas doce unidades de tubos de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm con abrazaderas.
- Para la chimenea se utilizan los mismos templetos, los cuales garantizan los estandares eléctricos de la norma, de modo tal que se utiliza acero inoxidable trenzado de area de 200mm<sup>2</sup> y 1.7 mm de diametro por hilo, con una longitud total de 121m.

**Tabla 18. Detalle cantidades sistema bajantes método alternativo.**

Zona	Cantidad	Ref.	Dimensión [mm]	Material	Peso kg	Comentario
Tanques de Almacenamiento de crudo	6 uní	AT-051C	800X800 X16000	Acero galvanizado	390	Torre cuadrada de acero galvanizado de 16 m de altura útil incluyendo mástil, para fijación sobre dado de hormigón de 95x95x195 cm
	412m	AT-061D	10X1000 X10	Acero galvanizado	0,62	Conductor redondo de acero galvanizado macizo de Ø10mm
	90m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	24 uní	AT-056G	26X26X2500	Plástico	0,7	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm, con abrazaderas.
Caseta de Control	24m	AT-061D	10X1000 X10	Acero galvanizado	0,62	Conductor redondo de acero galvanizado macizo de Ø10mm
	16m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	8 uní	AT-056G	26X26X2500	Plástico	0,7	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm, con abrazaderas.

Tanques de procesamiento	6 uní	AT-006C	400X400 X6000	Acero galvanizado	53,55	Mástil auto soportado de 6m de altura útil en acero galvanizado para fijación sobre dado de hormigón de 80x80x80cm, con bisagra y tramos atornillados.
	85m	AT-061D	10X1000 X10	Acero galvanizado	0,62	Conductor redondo de acero galvanizado macizo de Ø10mm
	16m	AT-114D	9x1000x9	Cobre	0,55	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>
	8 uní	AT-056G	26X26X2 500	Plástico	0,7	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm, con abrazaderas.
Chimenea	121m	Acero inoxidable trenzado de área de 200mm <sup>2</sup> y 1.7 mm de diámetro por hilo.				

**6.4.5 Diseño del sistema de puesta a tierra.** Para la ejecución del SPT se plantean dos métodos en los cuales son descritos en los subcapítulos posteriores, sin embargo aunque son dos configuraciones diferentes tienen el mismo propósito y de igual forma deben cumplir mínimo con los estándares exigidos en la reglamentación Colombiana actual, y de forma general pretende:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.
- Protección de instalaciones contra daños por rayos.

Un parámetro fundamental para el diseño de la puesta a tierra es la resistividad del terreno ( $\rho$ ), la cual dependiendo del tipo del terreno se puede estimar con buen criterio, solo en caso de no conocer la resistividad real por medio de mediciones en el terreno.

**Tabla 19. Valores típicos de resistividad de tipos de suelos.**

<b>Tipo de terreno</b>	<b>Resistividad <math>\rho</math> (<math>\Omega/m</math>)</b>
Terrenos vegetales húmedos	10 - 50
Arcilla, gredas, limos	20 - 60
Arenas Arcillosas	80 - 120
Fangos, turbas	150 - 300
Arenas	250 - 500
Suelos pedregosos	300 - 400
Rocas	1000 - 10000
Concreto húmedo	100 - 240
Concreto seco	10000 - 50000

Para efectos del proyecto se plantean dos tipos de configuración, la tipo A y la tipo B. Teniendo en cuenta que el valor de la resistividad influye en el dimensionamiento del sistema de puesta a tierra, se propone un diseño para cada configuración con el propósito de estimar cantidades y dar a conocer aspectos técnicos en el diseño y la construcción.

**6.4.5.1 Configuración tipo radial o tipo A.** De acuerdo al cumplimiento de las normas IEC 62305-3 y la NTC 4552-3, se diseña el sistema de puesta a tierra de este tipo de configuración.

En la siguiente figura se muestra la solución de puesta a tierra aplicando el tipo "A", propuesto por la norma NTC 4552-3 para cada una de las estructuras presentes.

**Figura 20. Configuración radial o tipo A.**

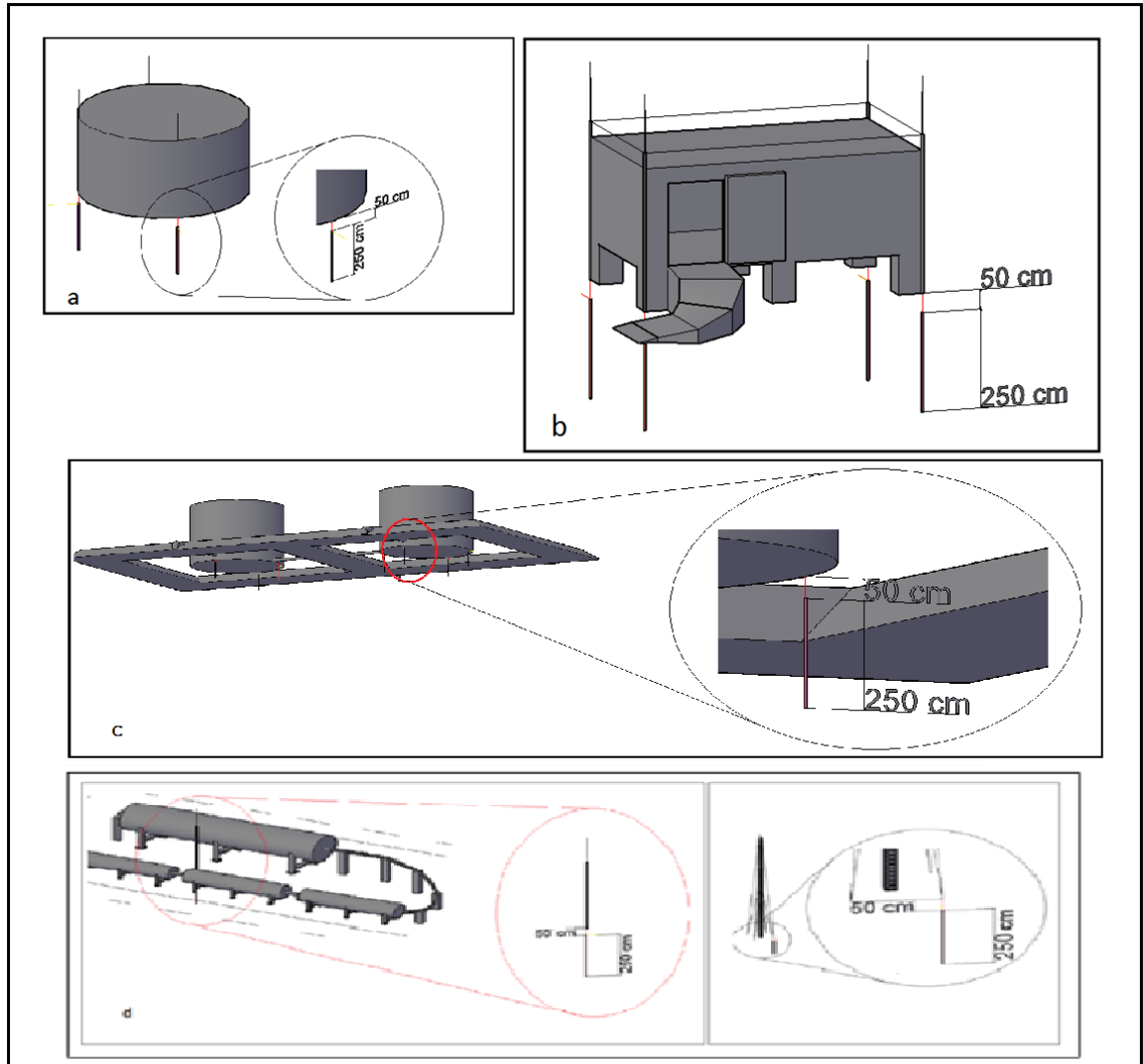


Figura a. Configuración tipo A en el tanque del sistema contra incendios.

Figura b. Configuración tipo A en la caseta de control.

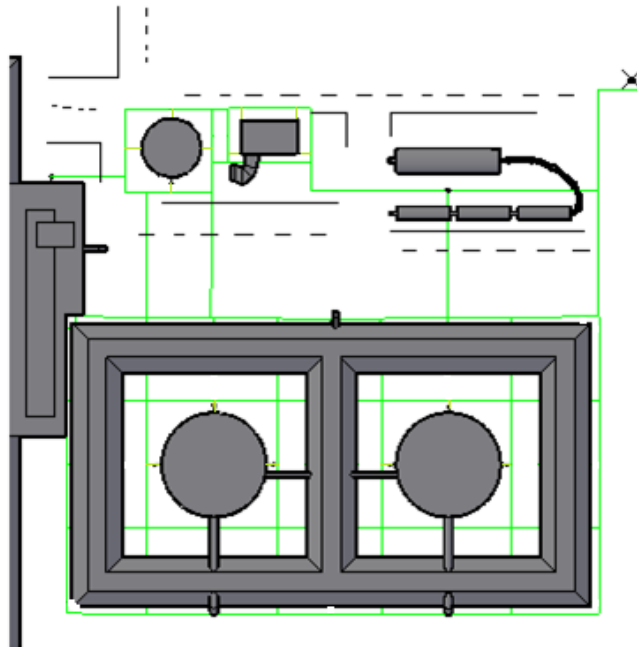
Figura c. Configuración tipo A en los taques de almacenamiento.

Figura d. Configuración tipo A en los tanques de procesamiento y la torre.

**6.4.5.2 Configuración tipo anillo o tipo B.** De acuerdo al cumplimiento de las normas IEC 62305-3 y la NTC 4552-3, se diseña el sistema de puesta a tierra de este tipo de configuración.

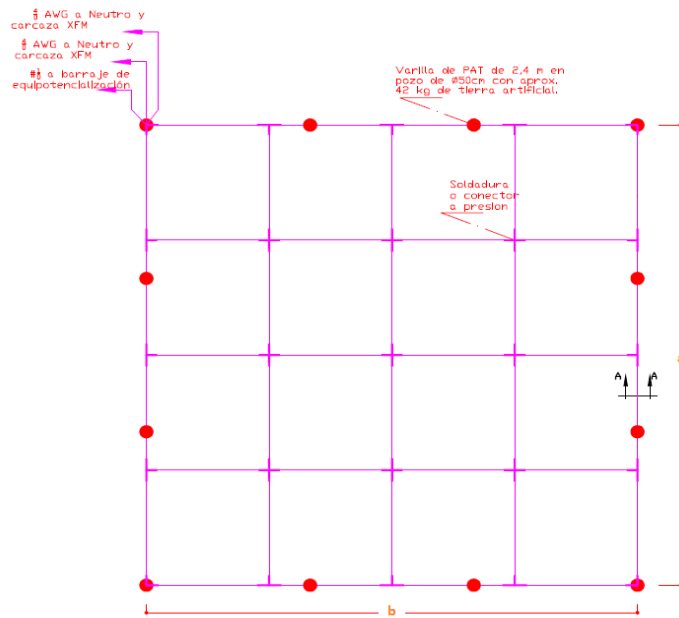
En la siguiente figura se muestra la solución de puesta a tierra aplicando el tipo “B”, propuesto por la norma NTC 4552-3 para cada una de las estructuras presentes.

**Figura 21. Configuración anillo o tipo B.**

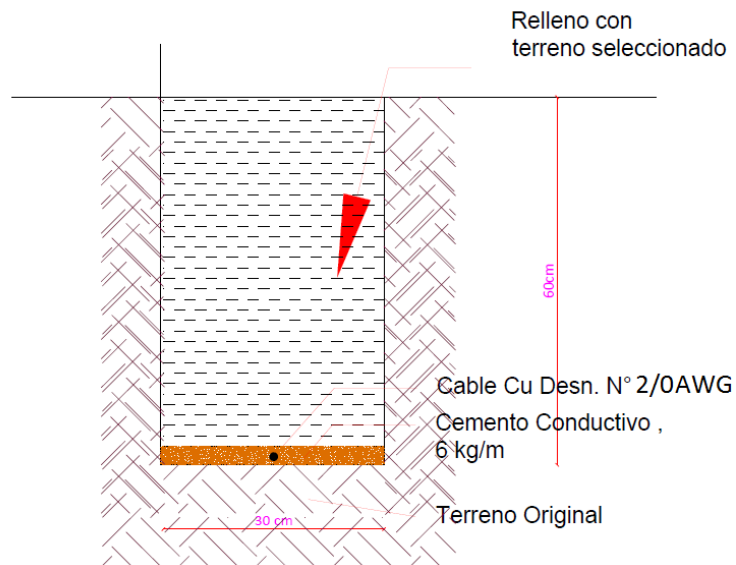


En la malla de puesta a tierra se propone una cuadrícula de 5X5 con dimensiones  $a \times b$ , las cuales varían con el dato de resistividad del terreno que se obtenga en la medición. Ver detalle en la siguiente figura.

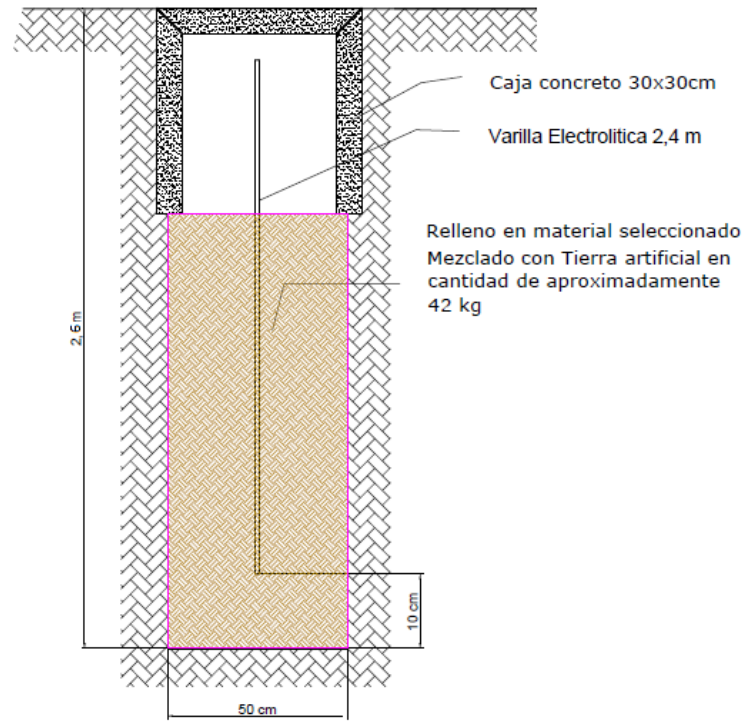
**Figura 22. Detalle malla de puesta a tierra**



**Figura 23. Detalle sección A-A, en figura 22.**



**Figura 24. Detalle de pozo en cada bajante y en la malla de puesta a tierra.**



**DETALLE POZO  
con Cemento Conductivo**

## **5. COSTOS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO**

A continuación se aprecian los estimados del análisis de precios unitarios correspondiente al método de la esfera rodante MER y al método alternativo, con el fin de establecer un comparativo de costos entre los mismos y determinar la viabilidad del proyecto.

## 5.1 MÉTODO ESFERA RODANTE

PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO					METODO MER
PROPONENTE: LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			PRESUPUESTO DE OBRA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANT	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
<b>1</b>	<b>TERMINALES DE CAPTACION, BAJANTES Y EQUIPOTENCIALIZACION</b>				
1.1	Pararrayos tipo Franklin modelo Blunt	UND	18	235000	4230000
1.2	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>	ML	150	55000	8250000
1.3	Aisladores para anillo de apantallamiento	UND	150	23500	3525000
1.4	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm	UND	50	48900	2445000
1.5	Uniones para tubería de polietileno de 3mm de espesor para cable de Ø8-10mm	UND	82	5700	467400
1.6	Curvas para tubería de polietileno de 3mm de espesor para cable de Ø8-10mm	UND	20	8500	170000
1.7	Tubo de acero galvanizado de 1 1/2"	ML	6	275000	1650000
1.8	Soporte para tubo de acero galvanizado	UND	1	56800	56800
1.9	Kits de tierra para tubería de polietileno de 3mm de	UND	60	364700	21882000

<b>PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO</b>					<b>METODO MER</b>
<b>PROPONENTE:</b> LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UN</b>	<b>CANT</b>	<b>Vr. UNITARIO</b>	<b>Vr. TOTAL</b>
	espesor para cable de Ø8-10mm				
1.10	Soldadura exotérmica	PTO	20	115000	2300000
1.11	Grapa de nylon para cable Ø6 - 10 mm con 18 mm de elevación con taco y tornillo.	UND	250	12300	3075000
1.12	Pernos de anclaje tipo liviano	UND	457	75600	34549200
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b>				
2.1	cable de cobre 7 hilos # 2/0 AWG desnudo	ML	1450	85700	124265000
2.2	cable de cobre 7 hilos # 2 AWG aislado	ML	35	55000	1925000
2.3	Soldadura exotérmica	PTO	250	115000	28750000
2.4	Caja de inspección de 0,3X0,3 mts	UND	6	85000	510000
2.5	Electrodo de cobre de 5/8" X 2,4 mts	UND	18	178000	3204000
2.6	Perforación	ML	38,4	38000	1459200
2.7	Excavación con Maquinaria	M3	3200	35000	112000000
2.8	Corte de piso con cortadora	ML	10	68000	680000
2.9	Demolición de piso	M2	15	56000	840000
<b>3</b>	<b>INFORME DE OBRA</b>				

<b>PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO</b>					<b>METODO MER</b>
<b>PROPONENTE:</b> LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UN</b>	<b>CANT</b>	<b>Vr. UNITARIO</b>	<b>Vr. TOTAL</b>
3.1	Actualización de planos as-built	UND	1	8000000	8000000
3.2	Medición de resistencia de puesta a tierra	UND	1	9500000	9500000
3.3	Registro fotográfico	GLB	1	3000000	3000000
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS:</b>					<b>\$376.733.600,0</b>
<b>ADMINISTRACION:</b>				<b>29%</b>	\$109.252.744,0
<b>IMPREVISTOS:</b>				<b>2%</b>	\$7.534.672,0
<b>UTILIDAD:</b>				<b>4%</b>	\$15.069.344,0
<b>VALOR TOTAL DEL CONTRATO :</b>					<b>\$508.590.360,0</b>
<b>I.V.A. 16% SOBRE LA UTILIDAD (4% DEL CONTRATO) :</b>					<b>\$2.411.095,0</b>
<b>VALOR TOTAL DEL CONTRATO INCLUIDO IVA DE LA UTILIDAD</b>					<b>\$511.001.455,0</b>

## 5.2 MÉTODO ALTERNATIVO

<b>PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION</b>	<b>METODO</b>
--	---------------

EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO					ALTERNATIVO
<b>PROPONENTE:</b> LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANT	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
<b>1</b>	<b>TERMINALES DE CAPTACION, BAJANTES Y EQUIPOTENCIALIZACION</b>				
1.1	Pararrayos tipo Franklin modelo Blunt	UND	17	235000	3995000
1.2	cable de cobre trenzado aislado con PVC de 50 mm <sup>2</sup>	ML	120	55000	6600000
1.3	Torre cuadrada de acero galvanizado de 16 m de altura útil incluyendo mástil, para fijación sobre dado de hormigón de 95x95x195 cm	UND	6	1870000	11220000
1.4	Conductor redondo de acero galvanizado macizo de Ø10mm	ML	521	65000	33865000
1.5	Tubo de protección de polietileno reticulado de 3mm de espesor y 2,5m de longitud para cable de Ø8-10mm	UND	26	48900	1271400
1.6	Uniones para tubería de polietileno de 3mm de espesor para cable de Ø8-10mm	UND	60	5700	342000
1.7	Curvas para tubería de polietileno de 3mm de espesor para cable de Ø8-10mm	UND	20	8500	170000

<b>PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO</b>					<b>METODO ALTERNATIVO</b>
<b>PROPONENTE:</b> LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UN</b>	<b>CANT</b>	<b>Vr. UNITARIO</b>	<b>Vr. TOTAL</b>
1.8	Kits de tierra para tubería de polietileno de 3mm de espesor para cable de Ø8-10mm	UND	60	364700	21882000
1.9	Soldadura exotérmica	PTO	20	115000	2300000
1.10	Mástil auto soportado de 6m de altura útil en acero galvanizado para fijación sobre dado de hormigón de 80x80x80cm, con bisagra y tramos atornillados.	UND	6	1465000	8790000
1.11	Pernos de anclaje tipo pesado	UND	50	154000	7700000
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b>				
2.1	cable de cobre 7 hilos # 2/0 AWG desnudo	ML	1450	85700	124265000
2.2	cable de cobre 7 hilos # 2 AWG aislado	ML	35	55000	1925000
2.3	Soldadura exotérmica	PTO	250	115000	28750000
2.4	Caja de inspección de 0,3X0,3 mts	UND	6	85000	510000
2.5	Electrodo de cobre de 5/8" X 2,4 mts	UND	17	178000	3026000
2.6	Perforación	ML	38,4	38000	1459200
2.7	Excavación con Maquinaria	M3	3200	35000	112000000
2.8	Corte de piso con cortadora	ML	10	68000	680000

PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS: SISTEMA DE PROTECCION EXTERNA PARA ESTACION DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO					METODO ALTERNATIVO
PROPONENTE: LUDWIG ANDRES AMADO BAUTISTA – UIS CIUDAD Y FECHA:			PRESUPUESTO DE OBRA		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANT	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
2.9	Demolición de piso	M2	15	56000	840000
<b>3</b>	<b>INFORME DE OBRA</b>				
3.1	Actualización de planos as-built	UND	1	8000000	8000000
3.2	Medición de resistencia de puesta a tierra	UND	1	9500000	9500000
3.3	Registro fotográfico	GLB	1	3000000	3000000
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS:</b>					<b>\$392.090.600,0</b>
<b>ADMINISTRACION:</b>				<b>29%</b>	\$113.706.274,0
<b>IMPREVISTOS:</b>				<b>2%</b>	\$7.841.812,0
<b>UTILIDAD:</b>				<b>4%</b>	\$15.683.624,0
<b>VALOR TOTAL DEL CONTRATO :</b>					<b>\$529.322.310,0</b>
<b>I.V.A. 16% SOBRE LA UTILIDAD (4% DEL CONTRATO) :</b>					<b>\$2.509.379,8</b>
<b>VALOR TOTAL DEL CONTRATO INCLUIDO IVA DE LA UTILIDAD</b>					<b>\$531.831.689,8</b>



## 6. CONCLUSIONES

La normatividad vigente establece varias acciones y detalles de cumplimiento mínimo que llevan a que las instalaciones sean seguras. Sin embargo cada proyecto es diferente, por lo que el criterio de ingeniería debe estar presente en cada caso.

Es importante que las puntas captadoras instaladas en las torres de emisión de gases o chimeneas no se instalen de forma vertical, se recomienda hacerlo en forma diagonal con un ángulo que evite el área de calentamiento.

El método de dimensionamiento de la esfera rodante presenta una ventaja al incluir mayor cantidad de área protegida debido a su gran tamaño. Esto permite abarcar áreas como vías de acceso, caminos peatonales y otros.

En el sistema de puesta a tierra SPT, la configuración tipo A, al no requerir de un anillo que interconecte los electrodos de cada estructura, resulta una propuesta más económica respecto de la configuración tipo B.

La configuración tipo B presenta un mejor nivel de protección para este tipo de proyecto, debido a que el anillo de equipotencialización en la parte inferior permite disipar la corriente en un menor tiempo.

El análisis de costos por precios unitarios refleja que la propuesta más económica corresponde al método de la esfera rodante MER con un porcentaje de alrededor del 5%, por lo que se optaría a implementarlo.

## **7. RECOMENDACIONES**

Es importante que al momento de diseñar y ejecutar todo tipo de proyecto se garantice la seguridad de las personas, la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente. Previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

Para la protección de tanques que almacenen sustancias inflamables es recomendable realizar la protección aplicando el método alternativo, ya que cubre de cerca la estructura a proteger, reduciendo el riesgo de acercamiento de algún tipo de arco eléctrico.

Al momento de la instalación es recomendable la utilización de productos certificados, que cumplan con todos los aspectos normativos de calidad, confiabilidad y funcionamiento, fijando los parámetros de seguridad y dando cumplimiento a la norma.

Al momento de realizar cualquier tipo de medición para establecer valores de diseño es importante tener en cuenta que el equipo a utilizar cumpla con los regímenes de calibración y certificación para tal medida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Principios generales. NTC 4552 Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 47 p.
- [2]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Manejo Del Riesgo. NTC 4552-1. Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 78 p
- [3]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Daños Físicos a Estructuras y Amenazas a La Vida. NTC 4552-2. Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 65 p.
- [4]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Principios Generales. NTC 4552-3. Bogotá. D.C: El Instituto, 2008. 143 p.
- [5]. Protección contra descargas atmosféricas para tanques de almacenamiento de hidrocarburos. 15/9/2011. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2803>
- [6]. Torres- Sánchez, H. Protección contra rayos, universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2008.
- [7]. Villavicencio Palacios, Edgar Gustavo. Recolección, transporte y distribución del gas natural y el crudo. Tomo IV, 4ta edición. Santa Cruz- Bolivia, 2012.
- [8]. Estructplan, [www. Estructplan.con.ar](http://www.estrucplan.com.ar)
- [9]. NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems
- [10]. API 2003, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents.

- [11]. API 545, Recommended Practice for Lightning Protection of Aboveground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids
- [12]. API 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage
- [13]. UNE EN 62305. Protección Contra el Rayo. 2012 / 11 / 07
- [14]. Manual de puestas a tierra .thor-gel. 2011.
- [15]. sistema de protección contra sobretensiones y contra el rayo, obo bettermann, 2010.
- [16]. MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007.
- [17]. CASAS OSPINA, Fabio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Bogotá: ICONTEC, 2008.
- [18]. NFPA 70, 2005 National electrical Code. National Fire Protection Association
- [19]. NFPA 780, 1997 Standard for the installation of lightning protection systems
- [20]. RETIE, 2013
- [21]. IEEE80, <http://www.bdigital.unal.edu.co/4770/3/eduardoantoniocanoplata.2010.pdf>
- [22]. American Petroleum Institute, API 650, “Welded Tanks for Oil Storage” (2007).
- [23]. Carlos A. Acosta S. Actualización de la integridad ante descargas eléctricas atmosféricas de tanques de almacenamiento de sustancias combustibles. Junio 24/2010.

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA S. Carlos A. Actualización de la integridad ante descargas eléctricas atmosféricas de tanques de almacenamiento de sustancias combustibles. Junio 24/2010.

American Petroleum Institute, API 650, "Welded Tanks for Oil Storage" 2007.

API, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents. 2003

API 545, Recommended Practice for Lightning Protection of Aboveground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids

API 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage

CASAS OSPINA, Fabio. Tierras soporte de la seguridad eléctrica. Bogotá: ICONTEC, 2008.

ESTRUCPLAN Protección contra descargas atmosféricas para tanques de almacenamiento de hidrocarburos. 15/9/2011.  
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2803>

ESTRUCPLAN, [www. Estructplan.con.ar](http://www.estrucplan.com.ar)

IEEE80, <http://www.bdigital.unal.edu.co/4770/3/eduardoantoniocanoplata.2010.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION.  
Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Principios  
generales. NTC 4552 Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 47 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION.  
Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Daños Físicos a  
Estructuras y Amenazas a La Vida. NTC 4552-2. Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 65  
p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION.  
Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Principios  
Generales. NTC 4552-3. Bogotá. D.C: El Instituto, 2008. 143 p.

MANUAL DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS, Madrid: Dehn + Sohne, 2007.

Manual de puestas a tierra .thor-gel. 2011.

NFPA 70, National electrical Code. National Fire Protection Association 2005

NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems

NFPA 780, 1997 Standard for the installation of lightning protection systems

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION.  
Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos): Manejo Del Riesgo.  
NTC 4552-1. Bogotá D.C: El Instituto, 2008. 78 p

RETIE, 2013

sistema de protección contra sobretensiones y contra el rayo, obo bettermann, 2010.

TORRES- SÁNCHEZ, H. Protección contra rayos, universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2008.

UNE EN 62305. Protección Contra el Rayo. 2012 / 11 / 07

VILLAVICENCIO PALACIOS, Edgar Gustavo. Recolección, transporte y distribución del gas natural y el crudo. Tomo IV, 4ta edición. Santa Cruz-Bolivia, 2012.