



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
PARA ZONA DE TANQUES DE GLP**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:**

Roxana Lizbeth Aguilera Balseca

Henry Samuel Muñoz Hernández

**TUTOR:** Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, MSc

**Guayaquil – Ecuador**

**2024**

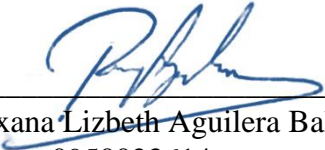
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Roxana Lizbeth Aguilera Balseca con documento de identificación N° 0950023614 y Henry Samuel Muñoz Hernández con documento de identificación N° 0953805322; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 de febrero del año 2024

Atentamente;



---

Roxana Lizbeth Aguilera Balseca  
0950023614



---

Henry Samuel Muñoz Hernández  
0953805322

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Roxana Lizbeth Aguilera Balseca con documento de identificación No. 0950023614 y Henry Samuel Muñoz Hernández con documento de identificación No. 0953805322, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño de sistema de protección contra descargas atmosféricas para zona de tanques de GLP”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO EN ELECTRICIDAD, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de febrero del año 2024

Atentamente;

  
Roxana Lizbeth Aguilera Balseca  
0950023614

  
Henry Samuel Muñoz Hernández  
0953805322

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Fernando Chávez Córdova con documento de identificación N° 0919553438, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA ZONA DE TANQUES DE GLP”, realizado por Roxana Lizbeth Aguilera Balseca con documento de identificación N° 0950023614 y por Henry Samuel Muñoz Hernández con documento de identificación N° 0953805322, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de febrero del año 2024

Atentamente;



---

Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, Msc.  
0919553438

## DEDICATORIA

A mi madre cuyo amor, esfuerzo y apoyo constante han sido mi motor para lograr esta meta.

A mi padre por darme el mundo entero y enseñarme que puedo lograr todo lo que me proponga.

A mi hermano mayor, tu influencia ha dejado una huella imborrable en mi camino, te amo, gracias por estar a mi lado. Me gustaría dedicársela también a mi leal compañera felina, Pilsener, a quien agradezco por compartir cada amanecer de estudio y esfuerzo.

Roxana Lizbeth Aguilera Balseca

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por ser aquel que me ha permitido llegar hasta estas instancias en mi preparación como futuro Ingeniero en Electricidad, por brindarme salud y sabiduría a diario, a mis padres: George Henry Muñoz Cedeño y Juana Irene Hernández Cornejo; que han sido mi principal fuente de inspiración y motivación para mantenerme enfocado en mi progreso, a mi familia en general, a mi novia Adrianna que ha estado a mi lado en cada momento importante de mi vida, y a mis mejores amigos que son parte de mi día a día, siendo de gran apoyo en este proceso y se han convertido en un pilar fundamental en estos años de estudios.

Henry Samuel Muñoz Hernández

## AGRADECIMIENTO

Le doy las gracias a Dios por guiar cada uno de mis pasos y decisiones a lo largo de la vida. Agradezco a mi madre por todas esas noches de estudio en donde me acompañó y alentó a seguir adelante, a mi padre por haberme orientado en mis decisiones a lo largo de mi vida personal, académica y profesional, a mi hermano por su amor y apoyo infaltable en cada uno de mis logros. A mis amados abuelos Emma y Oscar, pilares de mi infancia, los cuales llevo en el corazón. A mis amados abuelos Marina y Antonio, que con amor han apoyado cada paso de mi carrera. A mis queridos maestros W. Castro y X. Fierro que apoyaron e inspiraron a mi formación académica como ingeniera. A mis amigos de la escuela, la universidad y el trabajo, quienes siempre estuvieron a mi lado con dedicación y paciencia en los momentos que más los necesitaba. Gracias a todos por su apoyo, es cierto que las penas compartidas son menos pesadas y las alegrías compartidas son más intensas.

Roxana Lizbeth Aguilera Balseca

Agradezco a Dios por otorgarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para completar este difícil pero gratificante viaje académico. A mis padres, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo, amor y sacrificio, les estoy eternamente agradecido por su inquebrantable respaldo a lo largo de esta travesía. A mi familia, cuyo amor incondicional ha sido mi roca durante todos estos años, les doy las gracias por su constante aliento y comprensión. A mi novia, compañera de vida y fuente de inspiración, le agradezco por su paciencia, apoyo emocional y motivación constante. A mis mejores amigos, quienes han compartido risas, lágrimas y triunfos a lo largo de este viaje, les agradezco por ser mi red de apoyo inquebrantable. Este logro no habría sido posible sin cada uno de ustedes. Gracias por ser mi fuente de alegría y compañía en cada paso del camino.

Henry Samuel Muñoz Hernández

## ÍNDICE

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. TÍTULO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>4</b>

<b>1.7.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>1.7.1.</b>	<b>Objetivo General</b> .....	<b>5</b>
<b>1.7.2.</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>5</b>
<b>1.8.</b>	<b>METODOLOGÍA Y MEDIOS</b> .....	<b>5</b>
	<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1.</b>	<b>Electricidad atmosférica</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2.</b>	<b>Sobretensiones</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.3.</b>	<b>Sobretensiones transitorias</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.4.</b>	<b>Sobretensiones permanentes</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.</b>	<b>CIRPROTEC</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.</b>	<b>SISTEMA DE PARARRAYOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>Sistema de captación</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>Cabezal captador</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.3.</b>	<b>Pieza de adaptación</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.4.</b>	<b>Mástil</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.5.</b>	<b>Sistema bajante</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.6.</b>	<b>Sistema puesto a tierra</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.7.</b>	<b>Contador de descargas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4.</b>	<b>SOFTWARE NIMBUS PROJECT DESIGNER</b> .....	<b>11</b>



<b>2.5.</b>	<b>NORMATIVAS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.1.</b>	<b>Normativa NFPA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.2.</b>	<b>Normativa NFPA 780.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.3.</b>	<b>Norma IEC 62305 (protección contra rayos).....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.4.</b>	<b>Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1536 .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.5.</b>	<b>Norma UNE 21186 .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.6.</b>	<b>Norma NF C 17-102 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.7.</b>	<b>Norma IEEE 80 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.8.</b>	<b>Calibre de conductor (Ar) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6.</b>	<b>VOLTAJE DE TOQUE.....</b>	<b>15</b>
<b>2.7.</b>	<b>VOLTAJE DE PASO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.8.</b>	<b>CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.8.1.</b>	<b>Sección de seguridad de utilización y accesibilidad (SUA) 8.....</b>	<b>17</b>
<b>2.8.2.</b>	<b>Coficiente relacionado con el entorno (C1).....</b>	<b>18</b>
<b>2.8.3.</b>	<b>Área de captación (Ae).....</b>	<b>18</b>
<b>2.8.4.</b>	<b>Riesgo admisible (Na).....</b>	<b>19</b>
<b>2.8.5.</b>	<b>Coficiente en función del tipo de construcción (C2).....</b>	<b>19</b>
<b>2.8.6.</b>	<b>Coficiente en función del contenido de la estructura (C3).....</b>	<b>20</b>
<b>2.8.7.</b>	<b>Coficiente en función del uso de la estructura (C4).....</b>	<b>21</b>
<b>2.8.8.</b>	<b>Coficiente en función de continuidad de las actividades (C5) .....</b>	<b>21</b>

2.8.9.	Eficiencia del sistema (Efs) .....	22
2.9.	DENSIDAD DE DESCARGA A TIERRA (Ng) .....	23
2.10.	RESISTENCIA DE MALLA EN ARREGLO TRIANGULAR .....	23
2.11.	RADIO DE PROTECCIÓN EN PDC .....	24
2.12.	TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	25
2.12.1.	Tipos de tanques de almacenamiento.....	26
2.12.2.	Gas licuado del petróleo (GLP) .....	26
2.12.3.	Tanques de almacenamiento de GLP.....	27
CAPÍTULO III.....		28
3.1.	DISEÑO DE SISTEMA PARARRAYO PDC.....	28
3.1.1.	Definición de caso de estudio.....	28
3.1.2.	Definición de densidad de descarga (Ng) .....	28
3.1.3.	Cálculo del área de captación (Ae) .....	29
3.1.4.	Definición de coeficiente relación a su entorno (C1).....	30
3.1.5.	Cálculo de riesgo admisible (Na).....	31
3.1.6.	Cálculo de la frecuencia esperada de impacto (Ne) .....	31
3.1.7.	Cálculo de la eficiencia de nivel de protección.....	32
3.1.8.	Definición del radio de protección del sistema .....	32
3.1.9.	Cálculo del calibre del conductor (Ar) .....	32
3.1.10.	Cálculo del voltaje de toque y paso.....	33

<b>3.1.11.</b>	<b>Cálculo de resistencia de malla en arreglo triangular .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.</b>	<b>SIMULACIÓN EN SOFTWARE NIMBUS PROJECT DESIGNER .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Diagrama de flujo del software .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Simulación del software .....</b>	<b>38</b>
	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIG 1: Alta densidad de tormentas eléctricas y lluvias.....</b>	<b>6</b>
<b>FIG 2: Guía de instalación Nimbus.....</b>	<b>8</b>
<b>FIG 3: Software integral para la protección contra el rayo. ....</b>	<b>11</b>
<b>FIG 4: Pararrayos Nimbus®. ....</b>	<b>25</b>
<b>FIG 5: Mapa isocerámico global. ....</b>	<b>28</b>
<b>FIG 6: Dibujo 3D en Autocad del caso de estudio. ....</b>	<b>30</b>
<b>FIG 7: Software Nimbus Project Designer.....</b>	<b>36</b>
<b>FIG 8: Diagrama de flujo del software. ....</b>	<b>37</b>
<b>FIG 9: Paso 1 - Datos del proyecto.....</b>	<b>38</b>
<b>FIG 10: Paso 2 - Diseño del sistema. ....</b>	<b>38</b>
<b>FIG 11: Paso 3 - Trazo de área.....</b>	<b>39</b>
<b>FIG 12: Paso 4 - Modelo de pararrayo. ....</b>	<b>39</b>
<b>FIG 13: Paso 5 - Presentación del sistema.....</b>	<b>40</b>
<b>FIG 14: Paso 6 - Entrega de informe .....</b>	<b>40</b>
<b>FIG 15: Dibujo 3D del radio de protección del sistema. ....</b>	<b>41</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1: Radio de protección.....</b>	<b>9</b>
<b>TABLA 2: Coeficiente relacionado con el entorno C1.....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA 3: Coeficiente en función del tipo de construcción C2.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 4: Coeficiente en función del contenido de la estructura C3.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 5: Coeficiente en función del uso de la estructura C4.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 6: Coeficiente en función de la necesidad de continuidad de las actividades C5. 22</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 7: Eficiencia del sistema. Según CTE sección SUA 8.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 8: Dimensiones de tanques de almacenamiento de GLP. ....</b>	<b>29</b>
<b>TABLA 9: Resistividad del terreno.....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 10: Valores obtenidos.....</b>	<b>43</b>

## RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas para zonas de tanques de gas licuado del petróleo (GLP), utilizando el software Nimbus Project Designer para realizar simulaciones detalladas. El objetivo es minimizar el riesgo de accidentes y garantizar la seguridad de las instalaciones.

Se ha realizado un análisis exhaustivo de las normativas y estándares pertinentes, así como de las características específicas de los tanques de GLP y las condiciones climáticas locales. Basándose en este análisis, se propone un sistema de protección integral que incluye pararrayos, sistemas de puesta a tierra y dispositivos de protección adicionales. La efectividad y la viabilidad técnica y económica de este sistema se evalúan mediante simulaciones realizadas con el software, esto basado en nuestro caso de estudio planteado.

Los resultados demuestran el diseño de un sistema efectivo que puede reducir significativamente el riesgo de daños por descargas atmosféricas en las zonas de tanques de GLP, proporcionando así una base sólida para futuras implementaciones y una mayor seguridad tanto para los operadores como para el entorno circundante.

## ABSTRACT

This work focuses on the design of a protection system against atmospheric discharges for LPG tank areas, using the Nimbus Project Designer software to perform detailed simulations. The objective is to minimize the risk of accidents and guarantee the safety of the facilities.

A thorough analysis has been carried out of the relevant regulations and standards, as well as the specific characteristics of LPG tanks and local climatic conditions. Based on this analysis, a comprehensive protection system is proposed that includes lightning rods, grounding systems and additional protection devices. The effectiveness and technical and economic feasibility of this system are evaluated through simulations carried out with the Nimbus Project Designer software, complemented by case studies.

The results demonstrate the design of an effective system that can significantly reduce the risk of damage from atmospheric discharges in LPG tank areas, thus providing a solid foundation for future implementations and increased safety for both operators and the surrounding environment.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. TÍTULO**

Diseño de sistema de protección contra descargas atmosféricas para zona de tanques de GLP.

### **1.2. INTRODUCCIÓN**

En la era moderna, la seguridad y la integridad de las instalaciones industriales que manejan gases inflamables son de suma importancia. Entre estas instalaciones, los tanques de Gas Licuado de Petróleo (GLP) desempeñan un papel crucial en la provisión de energía para diversas aplicaciones. Sin embargo, la vulnerabilidad de estas estructuras a las descargas atmosféricas plantea desafíos significativos en términos de seguridad y gestión de riesgos.

Estas infraestructuras tienen la función de almacenar una variedad de combustibles, incluyendo gasolinas, gasóleos, querosenos y fuelóleos. Además, algunas de estas instalaciones están equipadas para almacenar y distribuir gasolinas y gasóleos con diferentes proporciones de biodiésel y bioetanol [1].

La incidencia de descargas atmosféricas, un fenómeno natural e impredecible, puede tener consecuencias devastadoras en las instalaciones de GLP, poniendo en peligro la seguridad de las personas y los activos. En este contexto, la presente tesis se enfoca en el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas específicamente adaptado para la zona de tanques de GLP.

La comprensión profunda de los factores específicos que rodean la protección contra descargas atmosféricas en la zona de tanques de GLP permite no solo una gestión más efectiva de riesgos, sino también la mejora continua de los estándares de seguridad en estas instalaciones cruciales.



### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las descargas atmosféricas, consideradas sobretensiones transitorias, pueden causar daños significativos a equipos eléctricos y electrónicos, interrupciones en la energía, pérdidas económicas y, aún más importante, arriesgar la seguridad de las personas que trabajan en esos edificios. Los diseños inadecuados de sistemas de protección atmosférica comprometen la integridad del contenido de los tanques de combustible. Sin un diseño basado en las normativas necesarias los profesionales encargados de este ámbito pueden enfrentar dificultades en la planificación e instalación de estos dispositivos. A medida que las tecnologías avanzan y las demandas energéticas evolucionan, la creciente complejidad de las instalaciones eléctricas y la infraestructura crítica intensifican la susceptibilidad a las descargas atmosféricas. La falta de una implementación efectiva de sistemas de protección atmosférica se traduce en riesgos sustanciales, no solo para la funcionalidad de los equipos, sino también para la integridad de los tanques de combustible, elementos esenciales en muchos entornos.

La insuficiencia en la aplicación de normativas específicas destinadas a la protección contra descargas atmosféricas expone una brecha en la salvaguarda de activos críticos. Esta falta de regulación adecuada puede llevar a interpretaciones ambiguas de los estándares existentes y, en última instancia, a la implementación inconsistente de medidas preventivas.

Es crucial destacar que, en ausencia de un enfoque normativo claro, los profesionales responsables de la seguridad eléctrica y la protección de infraestructuras críticas pueden carecer de orientación práctica. Esto no solo afecta la eficiencia en la planificación y ejecución de dispositivos de protección, sino que también deja espacio para la obsolescencia tecnológica y la falta de adaptación a los desafíos emergentes.

La conexión entre un diseño deficiente de sistemas de protección atmosférica y la integridad de los tanques de combustible subraya la necesidad urgente de estrategias más robustas y holísticas. La falta de un marco normativo sólido no solo aumenta la vulnerabilidad a descargas atmosféricas, sino que también impide la implementación de soluciones eficaces y la actualización constante de prácticas de seguridad.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Los tanques de Gas Licuado de Petróleo juegan un papel fundamental en la industria pues aseguran el suministro de combustible, al contener un material altamente inflamable se requiere de una mayor protección de infraestructura. El diseño de un sistema de pararrayos en zonas como los tanques de combustible está enfocado en la prevención de sobrevoltajes transitorios para protegerlas de dichos fenómenos, buscando cumplir las normativas de protección NFPA y desarrollar una solución práctica y segura que beneficiarán tanto a la infraestructura industrial como al personal operativo.

Esta necesidad de protección se intensifica en entornos industriales expuestos a condiciones climáticas adversas. Las tormentas eléctricas, por ejemplo, representan un riesgo considerable para la integridad de los tanques, ya que aumentan la probabilidad de descargas eléctricas. En este contexto, el diseño del sistema de pararrayos debe considerar no solo la magnitud de los sobrevoltajes sino también la frecuencia y la duración de los eventos climáticos, garantizando una respuesta efectiva.

Además, la localización geográfica de las instalaciones juega un papel crucial en la eficacia del sistema de pararrayos. Las áreas con mayor incidencia de tormentas eléctricas o con condiciones ambientales extremas requieren una planificación detallada para asegurar que la protección ofrecida sea proporcional a los riesgos asociados.

## **1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El ámbito geográfico de interés se concentrará en instalaciones del sector industrial alimenticio ubicadas en Guayaquil, donde la seguridad de los tanques de GLP es crucial para asegurar la permanencia de las operaciones.

La metodología incluirá un análisis detallado de los riesgos inherentes a estas instalaciones, la evaluación de tecnologías disponibles y la realización de pruebas piloto en entornos simulados que reflejen las condiciones específicas del sector. Es crucial destacar que esta investigación no se ocupará de aspectos ajenos al diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas para tanques de GLP en el sector industrial alimenticio, excluyendo consideraciones como las operaciones cotidianas de los tanques o cuestiones relacionadas con la distribución del gas a otras áreas no vinculadas directamente con la producción alimentaria.

Con esta delimitación, se busca abordar de manera precisa los retos particulares que enfrenta el sector industrial alimenticio en relación con la protección contra descargas atmosféricas en sus instalaciones de almacenamiento de GLP.

## **1.6. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA**

El diseño y la implementación de este tipo de sistema de protección para la zona de tanques de Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El desarrollo y la aplicación del sistema de protección contra descargas atmosféricas para la zona de tanques de Gas Licuado de Petróleo (GLP) generan una serie de ventajas tanto directas como indirectas para diversos grupos de interés. Los principales beneficiarios son:

- **SECTOR INDUSTRIAL:**

Este estudio aporta significativamente al sector industrial al proporcionar información esencial para la adopción de prácticas seguras y eficientes en la protección de áreas de almacenamiento de combustible. Su enfoque normativo y de seguridad eléctrica eleva los estándares, fortaleciendo la seguridad física de las instalaciones industriales ante la amenaza de fenómenos naturales.

- **PERSONAL DE PLANTA:**

La implementación del sistema propuesto mejora la seguridad laboral al reducir los riesgos asociados con las descargas atmosféricas.

Esto garantiza la continuidad operativa, previene accidentes derivados de la exposición en áreas desprotegidas dentro de la planta, y minimiza interrupciones en las operaciones, reduciendo las pérdidas económicas vinculadas a paros no planificados.

- **ESTUDIANTES E INGENIEROS ELÉCTRICOS:**

Este trabajo de titulación también beneficia a estudiantes e ingenieros vinculados al ámbito eléctrico, proporcionándoles un recurso guía para el desarrollo de nuevos proyectos.

Al proporcionar un enfoque claro y detallado sobre la implementación de principios de protección contra descargas atmosféricas en entornos industriales, ofrece una base sólida para el desarrollo de nuevas iniciativas. Esta contribución se traduce en un fortalecimiento significativo de los conocimientos técnicos y prácticos de aquellos profesionales que buscan comprender y aplicar eficazmente las estrategias de protección en el ámbito eléctrico.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de protecciones contra descargas atmosféricas en zona de tanques GLP mediante el uso de software Nimbus Project Designer.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Estudiar la normativa de protecciones contra el fuego descrita en documentos oficiales de la NFPA, a fin de cumplir con los índices de riesgo.
- Calcular el radio de protección basados en las normativas IEC 62305, con el propósito de establecer el dimensionamiento del sistema de protección atmosférica.
- Evaluar los cálculos mediante simulación ejecutada en el software Nimbus Project Designer, asegurando la eficacia de la protección en el área designada.

## **1.8. METODOLOGÍA Y MEDIOS**

Se realizará una investigación para diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas en la zona de tanques de Gas Licuado de Petróleo (GLP). La investigación se basará en normativas la NFPA 780, Norma IEC 62305, Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1536, la regulación IEEE 80, el CTE sección SUA 8 y fuentes bibliográficas; con el objetivo de satisfacer las necesidades del proyecto considerando la ubicación del tanque, la seguridad del personal y el desempeño del sistema de protección. La metodología consta de la definición del caso de estudio, consideraciones de seguridad eléctrica, diseño del sistema de protección, complementación del diseño mediante el software Nimbus Project Designer y análisis integral de los datos obtenidos.

## CAPÍTULO II

### 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1.1. Electricidad atmosférica

La electricidad atmosférica se manifiesta a través de cargas eléctricas en la atmósfera, principalmente durante las tormentas. Este fenómeno es causado por la ionización del aire, donde la acumulación de cargas en las nubes crea un fuerte campo eléctrico. La descarga resultante, conocida como rayo, equilibra estas cargas, liberando energía en forma de luz y sonido. Históricamente asociada con el experimento de las cometas de Benjamín Franklin en 1752 que demostró la relación entre tormentas eléctricas y rayos, este hito contribuyó a la comprensión de la electricidad atmosférica y sus efectos meteorológicos [2].

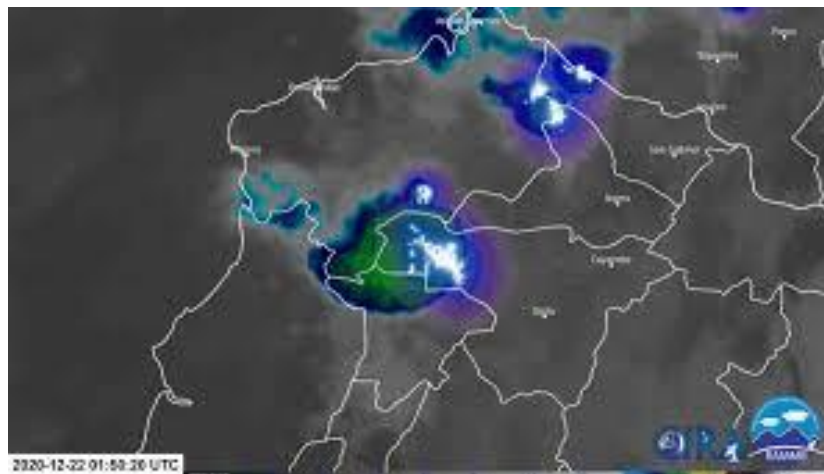


FIG 1: Alta densidad de tormentas eléctricas y lluvias.

Fuente: [3]

#### 2.1.2. Sobretensiones

Las sobretensiones se describen como el aumento del voltaje por encima de los límites determinados entre dos puntos de una instalación eléctrica. A pesar de haber estado presentes desde el inicio de los sistemas de distribución de energía eléctrica, la protección contra estos eventos se ha vuelto aún más valiosa hoy en día debido al avance tecnológico que emplea elementos eléctricos cada vez más diminutos y de alta sensibilidad. Estos fenómenos pueden categorizarse en dos tipos: transitorios y permanentes [4].

### **2.1.3. Sobretensiones transitorias**

Las sobretensiones transitorias son picos de voltaje que se caracterizan por sus descargas breves de voltaje que pueden alcanzar valores altos de kilovoltios (kV) con una duración de microsegundos. Estas sobrecargas pueden surgir de diferentes orígenes, como la colisión directa de rayos atmosféricos con la protección externa de una estructura (pararrayos) o con las líneas de energía eléctrica. Asimismo, pueden originarse a causa de la generación de campos electromagnéticos por las descargas, que se inducen en los conductores metálicos. Las líneas más susceptibles a estos campos suelen ser las exteriores, especialmente las de mayor longitud, lo que conlleva a inducciones frecuentemente altas. También es frecuente que sucesos no vinculados a las condiciones atmosféricas, como el cambio de centros de transformación o la desconexión de motores u otras cargas inductivas, produzcan picos de voltaje en las líneas adyacentes [5].

### **2.1.4. Sobretensiones permanentes**

Las sobretensiones permanentes, ya sean temporales o sostenidas, hacen referencia a aumentos de voltaje que exceden el 20 por ciento del valor nominal de la red de distribución y se mantienen durante varios ciclos o de manera constante.

Estas sobretensiones son consecuencia de la descompensación de las fases, comúnmente provocada por la ruptura del neutro, problemas en la conexión del conductor neutro o fallas en los centros de transformación. Las instalaciones eléctricas son particularmente propensas a sufrir daños debido a las sobretensiones permanentes. La prolongada presencia de la sobretensión puede resultar en la pérdida del servicio de los dispositivos eléctricos y electrónicos conectados. Esta elevada tensión afecta a los equipos, disminuyendo su vida útil, y puede ocasionar un sobrecalentamiento que lleve a daños irreparables o, en casos extremos, desencadene incendios [6].

## **2.2. CIRPROTEC**

Cirprotec se destaca como líder en protección atmosférica, especializándose en el diseño y fabricación de dispositivos contra rayos y sobretensiones. Con una trayectoria de más de 20 años llenos de experiencia, ofreciendo enfoques integrales que incluyen protectores contra sobretensiones y pararrayos PDC. Con más de 30,000 instalaciones de pararrayos y 5,000,000 de sistemas protegidos, Cirprotec ha dejado una marca significativa en la industria de la protección contra rayos, asegurando la seguridad de diversas instalaciones ante eventos atmosféricos [7].

## 2.3. SISTEMA DE PARARRAYOS

Un pararrayo es un sistema de protección eléctrica que resguarda infraestructuras al desviar la carga de rayos hacia tierra, impidiendo el impacto directo y resguardando la integridad de la estructura al canalizar la corriente hacia el sistema puesta a tierra. Los sistemas de pararrayo están compuestos esencialmente por cuatro bloques principales: Captación, bajante, puesta a tierra y contador de descargas.



FIG 2: Guía de instalación Nimbus

Fuente: [8]

### 2.3.1. Sistema de captación

Un sistema de punta captadora en pararrayos es fundamental para atraer y conducir descargas eléctricas de manera controlada. Entre los tipos de puntas captadoras comunes se encuentran las puntas Franklin y las puntas con dispositivo de cebado (PDC). Sin embargo, el pararrayos Nimbus PDC se destaca dentro del mercado al incorporar una innovadora tecnología de cebado electrónico que brinda al equipo un punto de impacto del rayo situado a una elevación más alta, ampliando la zona de alcance y ofreciendo una mayor protección contra los riesgos asociados con los rayos. La punta captadora Nimbus de la marca Cirprotec, equipado con la avanzada tecnología de cebado electrónico PDC, destaca en el mercado por su capacidad para aumentar la altura del punto de impacto del rayo, ampliando significativamente la zona de cobertura. Con características como ensayos de corriente de hasta 200kA y certificación Bureau Veritas, Nimbus ofrece una fácil instalación, transporte eficiente y una garantía extendida de hasta 10 años, redefiniendo los estándares en protección contra rayos [8].

### 2.3.2. Cabezal captador

La estructura superior del pararrayos se compone de dos electrodos de aluminio, los cuales se encuentran alejados por un aislante dieléctrico, sostenido por un pequeño mástil elaborado de acero inoxidable. Es importante señalar que el cabezal captador del pararrayos no contiene ninguna fuente radioactiva. Su función principal radica en disipar de manera continua el campo eléctrico de alta tensión en la zona de protección, asegurando que el aire cercano no alcance la tensión de ruptura.

Para ello CIRPROTEC nos provee una tabla de radio de protección de radio en la que se nos brinda la información necesaria para determinar el modelo de pararrayos que se va a requerir para la protección de la zona establecida.

TABLA 1: Radio de protección.

Fuente: [8]

Nivel de protección	NIVEL 1				NIVEL 2				NIVEL 3			
	h[m]	Modelo → nimbus®/nimbus® R				nimbus®/nimbus® R				nimbus®/nimbus® R		
ΔT[μs]	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
2	13	19	25	31	15	22	28	35	18	25	32	39
5	32	48	63	79	37	55	71	86	45	63	81	97
10	34	49	64	79	40	57	72	88	49	66	83	99
20	35	50	65	80	44	59	74	89	55	71	86	102
30	34	49	64	79	45	60	75	90	58	73	89	104
40	29	46	62	77	44	59	74	89	60	75	90	105
50	18	40	58	74	40	57	72	88	60	75	90	105
60	-	30	51	69	34	52	69	85	58	73	89	104

Esto ayuda a evitar la aparición de chispas, ruidos audibles, emisión de radiofrecuencia, vibraciones en el conductor y descargas de rayos [9].

### 2.3.3. Pieza de adaptación

La pieza de adaptación es un elemento esencial destinado para conectar el dispositivo de captación al mástil, permitiendo la unión del cabezal con la red conductora. Se presenta en dos versiones: una diseñada para integrarse con redes conductoras que emplean cable de sección 50 mm<sup>2</sup> o varilla de 8-10 mm de diámetro, y otra adaptada para conectarse a redes conductoras con pletina de 30x2 mm. Este componente posibilita la fijación de cualquier variante de sistema de captación, ya sea el PDC, puntas captadoras simples o múltiples [10].



#### **2.3.4. Mástil**

Los mástiles de pararrayos son estructuras esenciales para la instalación de varios tipos de pararrayos, incluyendo el pararrayos Franklin, el pararrayos PDC, y otros modelos. Estos mástiles ofrecen una ventaja significativa al proporcionar protección y prevenir posibles daños tanto para la empresa como para las personas involucradas. Además de ser soportes adecuados, desempeñan un papel crucial en salvaguardar contra diversos riesgos asociados con descargas atmosféricas [11].

#### **2.3.5. Sistema bajante**

El Sistema Bajante de un pararrayos es esencial para canalizar de manera controlada y segura la energía del rayo hacia tierra. Este sistema consta de varios elementos clave como: mástiles y anclajes para otorgar altura al pararrayos, grapas para fijar el conductor de la bajante, soportes para asegurar la trayectoria del conductor, conductores para guiar la corriente del rayo, manguitos de unión para medir la resistencia, tubo de protección para evitar choques mecánicos y una vía de chispas para la protección equipotencial. La función integral del Sistema Bajante es garantizar la eficacia del pararrayos al disipar la carga eléctrica y preservar estructuras y personas de los riesgos asociados con los rayos.

#### **2.3.6. Sistema puesto a tierra**

El sistema de puesta a tierra comprende elementos cruciales destinados a disipar las corrientes de un rayo de manera segura. Incluye componentes como conductores de cobre desnudo, soldaduras exotérmicas, varillas y en muchos casos cemento conductor. Su función principal es proporcionar una vía segura para la descarga eléctrica generada por el rayo, minimizando así el riesgo de daños a estructuras y personas al asegurar una dispersión controlada de la energía.

#### **2.3.7. Contador de descargas**

El Contador de Descargas Atmosféricas, o contador de rayos, es un dispositivo electrónico vital en sistemas de protección atmosférica. Su función es detectar impactos de rayos en las instalaciones, permitiendo un control inmediato y verificación. El mantenimiento de estos contadores es esencial debido a la posible pérdida de eficacia por factores como corrosión, condiciones atmosféricas adversas y golpes mecánicos.

Garantizar las características mecánicas y eléctricas del contador a lo largo del tiempo es crucial para cumplir con las normativas y asegurar la efectividad del sistema de protección contra rayos. El sistema de pararrayo, en conjunto con los diversos sistemas que lo conforman, su función captar, dirigir y disipar las descargas atmosféricas, asegurando una protección integral de la estructura. Este conjunto de elementos técnicos brinda tranquilidad al preservar la integridad de las instalaciones ante la amenaza de rayos [12].

## 2.4. SOFTWARE NIMBUS PROJECT DESIGNER

Nimbus Project Designer es un software que facilita el diseño integral de la protección contra rayos. Siguiendo normativas como UNE, NFPA y NFC asegura que los pararrayos estén estratégicamente ubicados, fortaleciendo su área de protección contra descargas atmosféricas y garantizando la seguridad de infraestructuras. El software brinda al diseñador la capacidad de realizar proyectos ilimitados, proporcionando documentos normativos, mediciones, guía de instalación y presupuestos referenciales [13].

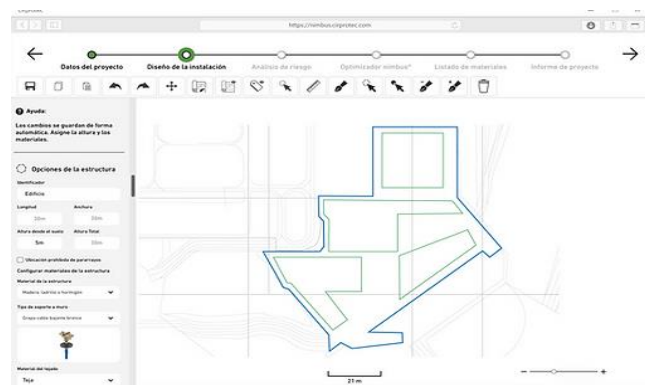


FIG 3: Software integral para la protección contra el rayo.

Fuente: [13]

Por medio de un sistema de orientación paso a paso y con la inclusión de ayudas contextuales, Nimbus Project Designer posibilita la resolución de proyectos de manera fácil, veloz y eficiente, independientemente del nivel de conocimientos previos del usuario.

En el entorno de creación, se encuentran todas las herramientas esenciales para poder elaborar el diseño detallado de las estructuras y áreas que requieren protección, permitiendo una delimitación de la instalación de manera accesible. Además, la importación de planos y su utilización como referencia de fondo facilitan el proceso de diseño. El software posibilita una gestión activa y adaptable de los proyectos, brindando la capacidad de editar y recalcular según sea necesario [14].

## **2.5. NORMATIVAS**

### **2.5.1. Normativa NFPA**

La NFPA (National Fire Protection Association) fundada hace más de 125 años, es una institución sustentada económicamente por sus propios medios, la cual brinda soluciones a las problemáticas en el área de seguridad por medio de estándares y códigos de prevención que determinan reglamentos para la elaboración de sistemas en contra de incendios, los cuales son elaborados por profesionales en el área de protección y seguridad. La implementación de sus criterios en áreas que cuenten con instalaciones eléctricas es de suma importancia, ya que esto desempeña un papel fundamental en la prevención de incidentes y en la disminución de los potenciales riesgos asociados [15].

Los estándares de la NFPA abarcan desde la prevención hasta la respuesta en casos de incendio, son indispensables para asegurar la protección de personas y propiedades. Mantenerse informado sobre las regulaciones locales y nacionales relacionadas con la seguridad contra incendios y adherirse estrictamente a ellas es siempre crucial, por lo que es recomendable consultar con un profesional especializado en seguridad contra incendios o un ingeniero certificado en protección contra incendios [16].

### **2.5.2. Normativa NFPA 780**

La norma NFPA 780, titulada "Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra Rayos", adopta un enfoque adaptable al brindar pautas de seguridad ajustadas a los peligros específicos de descargas eléctricas atmosféricas. Desde requisitos operativos hasta anexos informativos, y desde figuras ilustrativas hasta definiciones, esta norma constituye una referencia esencial para gestores de instalaciones, inspectores y autoridades competentes [17].

Su finalidad es sistematizar la implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, ya que esto juega un papel crucial en la protección de estructuras y vidas en peligros asociados con rayos.

En esta norma se especifican los componentes que constituyen un sistema de protección contra rayos como: los conductores, la importancia de una correcta puesta a tierra, terminales aéreas y dispositivos de protección [18].

La NFPA inicialmente estableció las directrices para la protección de edificaciones contra descargas atmosféricas en 1904. Estas normas fueron objeto de revisión en los años 1905, 1906, 1925, 1932 y 1937.

En el año de 1945, los comités de la NFPA y ASA dedicados a la protección contra descargas atmosféricas fueron reestructurados y fusionados con el respaldo de la NFPA, el Escritorio Nacional de Normas y el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (actualmente denominado IEEE). Un año después, la NFPA tomó la iniciativa de redactar la Parte III. Dicha sección fue añadida en 1947 a la publicación de una edición revisada. Posteriormente, las revisiones propuestas por el comité fueron tomadas en consideración por la NFPA en los años 1949, 1950, 1951, 1952, 1957, 1959, 1963, 1965, 1968, 1975, 1977, 1980, 1983, 1986, 1989 y 1992 [19].

### **2.5.3. Norma IEC 62305 (protección contra rayos)**

La normativa Internacional IEC 62305 establece directrices para la protección contra el rayo, enfocándose en mitigar el riesgo asociado con descargas eléctricas, fue establecida para salvaguardar estructuras y sistemas eléctricos considerando que se aborde específicamente la prevención de daños físicos y riesgos para la vida. Su aplicación es primordial en entornos como instalaciones e infraestructuras industriales, donde se requieren medidas adicionales de protección [20].

### **2.5.4. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1536**

Esta regulación detalla los criterios que las instalaciones de almacenamiento y envasado de gas licuado de petróleo (GLP), que poseen sistemas de almacenamiento permanente, deben seguir para garantizar la seguridad y atenuar el riesgo de incendios y/o explosiones. Se extiende a todas las estructuras que manejan GLP, incluyendo tanques estacionarios de almacenamiento y plantas de envasado [21].

### **2.5.5. Norma UNE 21186**

La norma UNE 21186 es una especificación técnica que establece criterios esenciales para la gestión de la innovación en organizaciones por medio de la implementación de conocimientos en el ámbito de la tecnología actual acerca de los sistemas protección contra rayos [22].

La norma UNE 21 186 especifica que su alcance se aplica, a las estructuras comunes con una altura inferior a 60 metros. Sin embargo, además de abordar las estructuras habituales, la norma también considera las áreas al aire libre, como áreas de almacenamiento o recreativas, entre otras [23].

### **2.5.6. Norma NF C 17-102**

La norma NFC 17-102 establece las reglas y pautas para la instalación adecuada de sistemas o mecanismos de protección contra rayos, específicamente Pararrayos con Dispositivo de Cebado (PDC), con el objetivo de salvaguardar estructuras y áreas al aire libre de los impactos directos de los rayos. Esta norma NFC 17-102 proporciona directrices detalladas sobre cómo seleccionar, instalar y mantener adecuadamente estos sistemas de protección contra rayos, asegurando así su eficacia y cumplimiento con los estándares de seguridad establecidos [24].

### **2.5.7. Norma IEEE 80**

La norma IEEE 80 está relacionada con la puesta a tierra, incluyendo la selección de materiales, la resistividad del suelo, los métodos de medición, los criterios de diseño y la instalación adecuada de electrodos de puesta a tierra.

Su objetivo principal es proporcionar una guía técnica para asegurar que los sistemas de puesta a tierra cumplan con los requisitos de seguridad y rendimiento.

Esta norma es particularmente utilizada para el diseño de mallas de puesta a tierra de subestaciones eléctricas.

Por lo tanto, es necesario realizar estudios de cortocircuitos y de protecciones eléctricas para garantizar que el diseño de la malla de puesta a tierra cumpla con los requisitos de seguridad y rendimiento establecidos en la norma [25].

### **2.5.8. Calibre de conductor (Ar)**

En el proceso de cálculo de conductores eléctricos, se debe tomar en consideración tres aspectos fundamentales: la condición térmica, la intensidad y la generación de calor por parte de los conductores. El efecto Joule se manifiesta cuando la corriente eléctrica atraviesa un cable o conductor, lo que produce un aumento de la temperatura en el material. La determinación de la sección de un cable se realiza considerando la caída de tensión. Este suceso se hace evidente en los circuitos derivados por el grosor y longitud de los conductores. Al alcanzar una longitud de 25-30 metros, se puede notar una disminución en el voltaje que puede afectar el funcionamiento y la operatividad adecuada de equipos o maquinaria [26].

El tamaño del conductor necesario en función de la corriente se puede determinar utilizando la ecuación mencionada. Esta ecuación evalúa la ampacidad, que es la corriente máxima que un conductor puede transportar sin exceder su rango de temperatura bajo condiciones de uso.

Las constantes del material de los conductores pueden ser conocidas o determinadas mediante cálculos. Y la Ecuación (1) nos permite calcular el calibre del conductor [27].

$$Ar = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{Tcap \times 10^{-4}}{tf * ar * pr}\right) \ln\left(\frac{K0 + Tm}{K0 + Ta}\right)}} \quad (1)$$

Donde:

- $I$  = Corriente de falla equilibrada medida en kiloamperios (kA).
- $Ar$  = Superficie de la sección transversal del conductor en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>).
- $Tm$  = Temperatura máxima aceptable del material, en grados Celsius (°C).
- $Ta$  = Temperatura ambiental, en grados Celsius (°C).
- $Tr$  = Temperatura referencial para las constantes del material, en grados Celsius (°C).
- $tf$  = Tiempo de duración de la corriente, expresado en segundos (para este caso se considera un valor de 0.003 segundos).
- $\alpha 0$  = Coeficiente de resistencia térmica a 0 °C, dado en 1/°C.
- $ar$  = Coeficiente de resistencia térmica referente a  $Tr$ , en 1/°C.
- $\rho r$  = Capacidad de resistencia del conductor de tierra a la temperatura de referencia  $Tr$ , ( $\mu\Omega$ -cm).
- $K0 = 1/\alpha 0$  o alternativamente,  $1/ar - Tr$  en grados Celsius (°C).
- $Tcap$  = Capacidad térmica por unidad en grado Celsius (J/cm<sup>3</sup>/°C).

## 2.6. VOLTAJE DE TOQUE

El voltaje de toque se describe como la tensión que podría existir entre la superficie o equipo conductor y el suelo, la cual puede fluctuar dependiendo de diversos factores, como la resistencia eléctrica del cuerpo humano, la humedad de la piel y la impedancia del suelo, entre otros. El voltaje de toque puede variar debido a varios factores, como la magnitud del voltaje proveniente de la fuente de energía, la resistencia eléctrica del cuerpo humano (que puede cambiar dependiendo de la humedad de la piel y otros factores), la impedancia del suelo y la distancia entre la persona y la fuente de energía. La forma de onda del voltaje de toque está directamente relacionada con la forma de onda de la corriente que fluye hacia el suelo. El aumento en la corriente induce una tensión de contacto en el lazo formado por el cuerpo humano, el conductor de bajada y la tierra [28].

Para poder determinar el voltaje de toque se emplea la Ecuación (2) con la cual podremos determinar la distancia segura entre equipos energizados y áreas accesibles para personas.

$$E_{toque} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (2)$$

Donde:

- $E_{toque}$  = Voltaje de contacto (V)
- $C_s$  = Se determina a partir de la Ecuación (3)

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \quad (3)$$

- $\rho_s$  = Resistencia del material de la superficie en  $\Omega \cdot m$
- $t_s$  = Duración de la corriente de choque en segundos

## 2.7. VOLTAJE DE PASO

Las tensiones de paso ocurren cuando hay dos puntos de contacto con el suelo y cada uno de ellos tiene un potencial diferente. Esta disparidad de potencial provoca que parte de la corriente circule a través del elemento en cuestión, que puede ser una persona o un animal. La diferencia de potencial puede ser significativa en distancias cortas, especialmente cuando la corriente del rayo se dispersa en el terreno [29]. Los voltajes de paso son esenciales en la seguridad eléctrica, especialmente en entornos con sistemas de distribución de energía eléctrica aérea, como líneas de transmisión y distribución de alta tensión. Estos voltajes se definen como las tensiones inducidas en el suelo entre los pies de una persona o las patas de un animal mientras están en contacto con la superficie del suelo.

Estas tensiones pueden ser lo suficientemente altas como para representar un riesgo de descarga eléctrica si una persona o un animal se encuentran dentro del área afectada. Para el cálculo de voltaje de paso, se emplea la Ecuación (3) siendo esencial la determinación de este valor para el diseño de instalaciones eléctricas seguras.

$$E_{paso} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (4)$$

Donde:

- $E_{toque}$  = Voltaje de contacto (V)
- $C_s$  = Se determina a partir de la Ecuación (3)
- $\rho_s$  = Resistividad del material de la superficie en  $\Omega \cdot m$
- $t_s$  = Duración de la corriente de choque en segundos.

## 2.8. CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) fue desarrollado con el propósito de ser aplicado en construcciones tanto de carácter público como privado, cuyos proyectos o documentación técnica sean elaborados por un profesional competente y requieran una licencia o autorización legalmente exigible. En este contexto, el CTE establece normativas para las nuevas construcciones, con excepción de aquellas de baja complejidad técnica y escasa entidad constructiva que no sean de carácter residencial o público, que se desarrollen en una única planta y que no pongan en riesgo la seguridad de las personas. Además, el CTE también se aplica a las modificaciones realizadas en edificaciones existentes, como ampliaciones, reformas o cambios de uso. En situaciones donde resulte imposible o incompatible cumplir estrictamente con los requisitos reglamentarios en estas intervenciones, el CTE permite cierta flexibilidad, tanto en términos generales como específicos según el requisito afectado. No obstante, es fundamental justificar el nivel de cumplimiento final alcanzado, así como los requisitos de uso y mantenimiento del edificio resultantes de dicha adaptación [30].

### 2.8.1. Sección de seguridad de utilización y accesibilidad (SUA) 8

La sección SUA 8 del CTE, en donde se brinda información de seguridad frente al riesgo causado por la acción de rayos; se detalla un procedimiento de verificación que exige la instalación de sistemas de protección contra descargas eléctricas con el fin de prevenir el riesgo de incendios provocados por rayos.

Además, establece requisitos específicos para edificaciones que almacenen sustancias inflamables o que sean fácilmente inflamables en presencia de agentes incendiarios, como la necesidad de cumplir con ciertas regulaciones de altura y contar con protección contra descargas eléctricas generadas por rayos con un valor de 0.98 de eficiencia mínima. La sección también describe el tipo de instalación necesario para cumplir con estos estándares de eficiencia [31]. Bajo estas especificaciones, se puede calcular la frecuencia esperada de impactos ( $N_e$ ) según la Ecuación (4) [32].

$$N_e = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} \left( \frac{n^\circ \text{ de impactos}}{\text{año}} \right) \quad (5)$$

Donde:

- $N_e$  = Frecuencia de impacto estimada.
- $N_g$  = Densidad de impactos a tierra.
- $A_e$  = Área equivalente de la edificación.
- $C_1$  = Coeficiente de relación con el entorno.



### 2.8.2. Coeficiente relacionado con el entorno (C1)

El coeficiente de relación con el entorno (C1) es uno de los parámetros utilizados en el cálculo de resistencia al viento en las edificaciones. Este coeficiente se utiliza para tener en cuenta la exposición del edificio al viento y la protección proporcionada por otros edificios, árboles u obstáculos cercanos. Este coeficiente es importante para garantizar la seguridad y estabilidad estructural de las edificaciones ante las cargas de viento. Dependiendo de la ubicación y la disposición de estos elementos, el valor de C1 puede variar, lo que afectará la carga de viento que se aplica al edificio. Para definir este parámetro nos basamos en la siguiente tabla:

TABLA 2: Coeficiente relacionado con el entorno C1.

Fuente: [31]

Situación del edificio	C <sub>1</sub>
Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos	0.5
Rodeado de edificios más bajos	0.75
Aislado	1
Aislado sobre una colina o promontorio	2

En la tabla anteriormente mencionada se nos proporcionan distintos valores del coeficiente C1 según la situación del edificio, es decir, su ubicación y las características del entorno; estos valores suelen estar asociados a diferentes categorías de ubicación y a la presencia de obstáculos cercanos que puedan influir en la velocidad y la dirección del viento. Dando un alto valor de coeficiente cuando un edificio se encuentra ubicado en una zona abierta y expuesta a vientos fuertes, mientras que un edificio ubicado en una zona protegida o rodeado de otros edificios que actúen como barreras contra el viento tendrá un coeficiente menor.

### 2.8.3. Área de captación (Ae)

El área de captación, también denominada superficie o área de captura equivalente del edificio es el área definida por una línea determinada a una distancia de la altura triplicada del edificio desde cada punto de su perímetro, por lo que se traza una línea en paralelo al perímetro del edificio, y el área que se encuentre entre estas líneas es denominada “área de captación” [31]. Para realizar el cálculo del área de captación se debe utilizar la Ecuación 40.

$$Ae = L * w + 6h * (L + w) + (9\pi * h^2) \quad (6)$$

Donde:

- $Ae$  = Área de captación.
- $L$  = El ancho del edificio en dirección perpendicular al viento dominante.
- $W$  = El largo del edificio en dirección perpendicular al viento dominante.
- $H$  = Altura efectiva del edificio.

#### 2.8.4. Riesgo admisible ( $Na$ )

El riesgo admisible en el CTE SUA8 implica determinar un nivel de riesgo que se considera aceptable para una determinada situación o tipo de edificación, teniendo en cuenta factores como la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado, las posibles consecuencias de dicho evento y las medidas de seguridad implementadas para mitigar los riesgos, y se determina mediante la evaluación y gestión de los riesgos asociados con la ocupación y el uso de la edificación. Para realizar el cálculo del riesgo admisible, según la Ecuación (7) se deben considerar: el coeficiente en función del tipo de construcción ( $C2$ ), coeficiente en función del contenido de la estructura ( $C3$ ), coeficiente en función del uso de la estructura ( $C4$ ) y el coeficiente en función de la necesidad de continuidad de las necesidades ( $C5$ ) [32].

$$Na = \frac{5.5}{C2 * C3 * C4 * C5} 10^{-3} \quad (7)$$

Donde:

- $Na$  = riesgo admisible.
- $C2$  = coeficiente en función del tipo de construcción.
- $C3$  = coeficiente en función del contenido de la estructura.
- $C4$  = coeficiente en función del uso de la estructura.
- $C5$  = Coeficiente en función de la necesidad de continuidad de las necesidades.

#### 2.8.5. Coeficiente en función del tipo de construcción ( $C2$ )

El coeficiente  $C2$  es un factor que tiene en cuenta las características constructivas y el uso previsto de la edificación, y se utiliza para calcular el nivel de resistencia al fuego requerido para los elementos estructurales (como muros, techos, suelos) y las barreras de compartimentación (como puertas y paredes cortafuegos). Este coeficiente varía según el tipo de edificación y se establece de acuerdo con las normativas y directrices establecidas en el CTE. Se consideran diferentes tipos de construcción, como edificios de viviendas, edificios industriales, edificios de oficinas, entre otros, y se asigna un valor específico del coeficiente para cada tipo de construcción en función de su riesgo de incendio y la protección requerida.

TABLA 3: Coeficiente en función del tipo de construcción C2.

Fuente: [31]

	Cubierta metálica	Cubierta común	Inflamable
Estructura metálica	0.5	1	2
Estructura común	1	1	2.5
Estructura inflamable	2	2.5	3

La tabla C2 nos proporciona valores específicos de coeficientes para diferentes tipos de edificaciones, categorizadas según su uso y características constructivas. Por lo general, los tipos de edificaciones incluyen viviendas, edificios industriales, edificios de oficinas, comercios, entre otros. Estos valores son determinados en función del nivel de riesgo de incendio asociado con cada tipo de edificación y la protección requerida para garantizar la seguridad en caso de incendio. Cuanto mayor sea el riesgo de incendio y la necesidad de protección, mayor será el valor del coeficiente.

#### 2.8.6. Coeficiente en función del contenido de la estructura (C3)

Este coeficiente es un parámetro utilizado en el apartado de seguridad estructural, en el que se considera el tipo de contenido o el uso que tiene una edificación. El valor de C3 se establece utilizando tablas o valores predeterminados en el Código Técnico de la Edificación (CTE), los cuales tienen en cuenta el tipo de contenido o uso previsto para la estructura. Estos valores son suministrados por el código de construcción y se fundamentan en consideraciones de seguridad estructural.

TABLA 4: Coeficiente en función del contenido de la estructura C3.

Fuente: [31]

Sin valor inflamable	0.5
Usualmente inflamable	2
Propenso a inflamarse	5
Muy inflamable	10

Esta tabla proporciona valores específicos para diferentes tipos de uso de los espacios dentro de una edificación. Los usos pueden incluir áreas de vivienda, oficinas, comercios, almacenes, entre otros, y los valores de esta tabla están determinados en función del nivel de riesgo de incendio asociado con cada tipo de uso y la protección requerida para garantizar la seguridad en caso de incendio.

### 2.8.7. Coeficiente en función del uso de la estructura (C4)

El coeficiente C4 en el CTE SUA8 se emplea para adaptar los requisitos de resistencia al fuego y otras medidas de seguridad según el uso específico de la edificación.

El valor de C4 se determina considerando el tipo de uso de la edificación y se proporciona en tablas o valores establecidos en el propio CTE SUA8. Estos valores se basan en consideraciones de seguridad contra incendios y protección de la vida humana en función de la ocupación y el uso previsto del edificio.

TABLA 5: Coeficiente en función del uso de la estructura C4.

Fuente: [31]

Edificios no ocupados normalmente	0.5
Usos Pública Concurrencia, Sanitario, Comercial, Docente	3
Resto de edificios	1

Los valores de esta tabla están determinados en función del nivel de riesgo de incendio asociado con la carga de fuego del edificio y la protección requerida para garantizar la seguridad en caso de incendio.

Por ejemplo, edificios con una carga de fuego elevada, como almacenes de materiales inflamables o industrias con procesos de producción que generan calor, pueden tener valores más altos de coeficiente.

### 2.8.8. Coeficiente en función de continuidad de las actividades (C5)

Este coeficiente se emplea para definir el nivel de protección y las medidas de seguridad necesarias en una edificación, con el fin de asegurar que las necesidades básicas de los ocupantes, como la evacuación segura, la atención médica de emergencia y el acceso a los servicios esenciales, puedan ser mantenidas en caso de incendio u otras situaciones de emergencia.

El valor del coeficiente se determina considerando diversos factores, como la naturaleza del uso de la edificación, la presencia de personas con movilidad reducida o discapacidades, la capacidad de respuesta de los servicios de emergencia, entre otros.

TABLA 6: Coeficiente en función de la necesidad de continuidad de las actividades C5.

Fuente: [31]

Sin requerimiento de servicio constante y sin impacto significativo en el entorno	1
Requerimiento de servicio constante y con posibles consecuencias en el entorno	5
Consecuencias directas en el entorno	10

En esta tabla se nos proporciona valores específicos para diferentes grados de segmentación de los espacios dentro de una edificación. Estos grados pueden variar según el tipo de uso de la zona, la ocupación prevista y otros factores relevantes. Los valores de C5 en la tabla C5 están determinados en función del nivel de protección requerido para garantizar la seguridad en caso de incendio en cada zona o compartimento. Por ejemplo, zonas con mayor riesgo de incendio, como cocinas comerciales o almacenes de materiales inflamables, pueden requerir un grado de compartimentación más alto para contener y controlar la propagación del fuego y del humo.

### 2.8.9. Eficiencia del sistema (Efs)

La eficiencia del sistema es la probabilidad de que un sistema de protección contra el rayo intervenga en las descargas sin representar riesgo para la estructura e instalaciones, de manera segura, evitando así daños a la infraestructura y equipos [33]. Esta probabilidad se basa en diversos factores, como la eficacia del diseño del sistema de protección, la altura y distribución de los pararrayos, la conductividad del terreno y la frecuencia y magnitud de las descargas atmosféricas en la zona.

Podemos calcular el valor de eficiencia según la Ecuación (8)

$$Efs = 1 - \frac{Na}{Ne} \quad (8)$$

Donde:

- $Efs$  = la eficiencia del sistema.
- $Na$  = riesgo admisible.
- $Ne$  = frecuencia esperada de impactos.

Este parámetro tiene un recurso que ofrece valores concretos para el cálculo de cumplimiento de estándares de seguridad, denominada “tabla de eficiencia requerida según el nivel de protección” [33].

TABLA 7: Eficiencia del sistema. Según CTE sección SUA 8.

Fuente: [31]

<b>Eficiencia requerida</b>	<b>Nivel de protección</b>
$E \geq 0,98$	1
$0,95 \leq E < 0,98$	2
$0,80 \leq E < 0,95$	3
$0 \leq E < 0,80$	4

En esta tabla se nos muestra como el nivel de protección del sistema va a depender de la eficiencia de este. Por ejemplo, si se tiene una eficiencia mayor o igual que 0.98 el nivel de protección que se requerirá será el primero. Por lo que mientras menor sea la eficiencia del sistema, mayor tendrá que ser el nivel de protección.

## 2.9. DENSIDAD DE DESCARGA A TIERRA (Ng)

La densidad de descargas a tierra se calcula teniendo en cuenta varios factores, incluyendo la frecuencia y la intensidad de la actividad eléctrica en la región, la altura y la ubicación de la estructura, el diseño y la configuración del sistema de puesta a tierra, entre otros.

Por lo tanto, calcular y dimensionar adecuadamente la densidad de descargas a tierra es fundamental para garantizar la eficacia y la seguridad del sistema de protección contra rayos. La densidad de descargas a tierra por kilómetro cuadrado y año, representada por Ng, es otro factor crucial en el cálculo de los contornos de seguridad [34].

## 2.10. RESISTENCIA DE MALLA EN ARREGLO TRIANGULAR

Las ecuaciones de Schwarz para la malla de puesta a tierra constituyen un marco teórico fundamental en la ingeniería eléctrica. Establecidas por Schwarz, estas ecuaciones se basan en la teoría de campos electromagnéticos y la ley de Ohm. Permiten calcular la resistencia total de un sistema de puesta a tierra en un terreno homogéneo, considerando la distribución de corriente a través del suelo, la disposición de los electrodos y las propiedades del suelo, como su resistividad. Para el arreglo triangular, Schwarz determina tres ecuaciones; la primera de estas, la Ecuación (9) permite realizar el cálculo de resistencia del conductor del suelo, medido en ohmios ( $\Omega$ ) [35].

$$R1 = \frac{\rho}{3\pi d} \left[ \ln\left(\frac{6d}{a'}\right) + \frac{3k1 * d}{\sqrt{A}} - k2 \right] \quad (9)$$

La Ecuación (10) que nos permite calcular la resistencia de las varillas al suelo, así mismo medido en ohmios.

$$R2 = \frac{\rho}{6\pi Lr} \left[ \ln \left( \frac{4Lr}{b} \right) - 1 + \frac{2k1 * Lr}{\sqrt{A}} (\sqrt{3} - 1)^2 \right] \quad (10)$$

La Ecuación (11) nos ayuda a determinar la resistencia compartida entre malla y varillas

$$Rm = R1 - \left( \frac{\rho}{3\pi d} \right) \left[ \ln \left( \frac{Lr}{\sqrt{h * 2a}} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

Y la Ecuación (12) nos engloba la resistencia total de la malla

$$Rg = \frac{R1R2 + Rm^2}{R1 + R2 + 2Rm} \quad (12)$$

Donde:

- $\rho$  = Resistencia del terreno [ $\Omega \cdot m$ ].
- $Lc$  = Longitud del conductor [m].
- $a'$  = Profundidad del conductor a tierra [m].
- $a$  = Radio del conductor [m].
- $b$  = Radio de la varilla [m].
- $nR$  = Número de varillas.
- $k1, k2$  = Constantes que se asumen con valor 1.

El arreglo triangular es preferido en sistemas de puesta a tierra de pararrayos debido a su eficacia para dispersar corrientes, minimizar gradientes de potencial y proporcionar una distribución uniforme de la corriente en el suelo, lo que aumenta la protección contra descargas atmosféricas [35].

## 2.11. RADIO DE PROTECCIÓN EN PDC

El cálculo del radio de protección en un Pararrayos con Dispositivo de Cebado (PDC) se rige por normativas como IEC 62305 y UNE21186. Este determina el espacio seguro alrededor del PDC para prevenir daños causados por rayos. Se emplean métodos gráficos y analíticos que, aunque diferentes en enfoque, ofrecen resultados idénticos. Interpretar correctamente la fórmula es esencial: la esfera que define la zona protegida y el cono sobre ella. Esta evaluación garantiza una instalación precisa y la protección eficaz de la estructura contra los impactos de rayos [36].

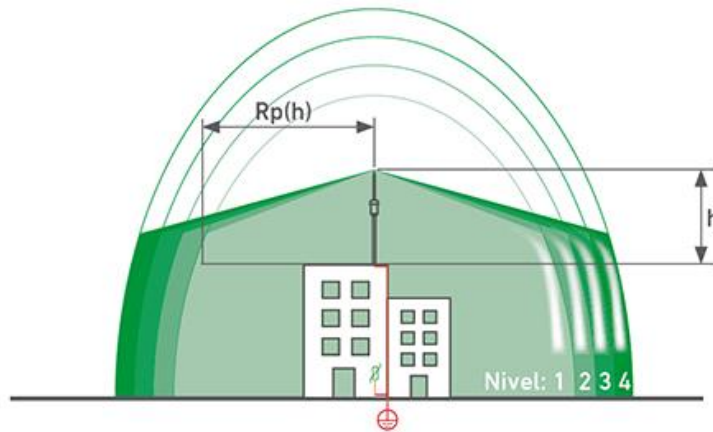


FIG 4: Pararrayos Nimbus®.

Fuente: [14]

Los cálculos de área de protección y ángulo de protección, según la norma IEC 62305, son esenciales en la evaluación de la eficacia en la protección contra rayos. Este método, derivado del enfoque de la esfera rodante, simplifica el análisis al asignar un ángulo que se forma entre la punta captadora y la superficie circundante. La dimensión tridimensional del ángulo de protección, determinada por la altura de la varilla, se ajusta mediante la Tabla de IEC 62305-3. Esta variabilidad mejora la precisión en comparación con los estándares anteriores, como BS 6651, al adaptarse a la dinámica específica del entorno y garantizar una protección más efectiva contra descargas atmosféricas [37].

## 2.12. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento (también denominados tanques de almacenamiento presurizados) son contenedores destinados a la preservación de sólidos, líquidos o gases; que desempeñan una importante labor en los procesos de producción en el ámbito industrial. Estos tanques son esenciales en varios sectores industriales, como el sector alimenticio, el sector químico y refinerías. Estos contenedores pueden clasificarse según su forma, uso y el elemento que preservan. Los tanques de almacenamiento garantizan acceso rápido a materias primas y productos, además de prevenir contaminación y evaporación en ciertos casos [38].

En la industria química y petroquímica, la producción, fabricación y refinado dependen en gran medida de la presencia de tanques de almacenamiento. La elección adecuada de un tanque de almacenamiento juega un papel crucial al salvaguardar tanto el producto como el equipo, el entorno y el personal asociado. Estos tanques, diseñados para contener líquidos, vapores y gases, tienen la finalidad de prevenir derrames y reducir los riesgos y daños derivados de posibles rupturas o fugas.



La correcta selección del tipo de tanque de almacenamiento no solo optimiza el funcionamiento de los calentadores de tanque, sino que también contribuye a preservar la integridad del producto almacenado [39].

### **2.12.1. Tipos de tanques de almacenamiento**

En prácticamente todas las ramas industriales, se necesitan recipientes de almacenamiento para contener diversas sustancias, asegurando la seguridad y la higiene necesarias para los distintos procesos en los que estos dispositivos están involucrados. Desde la industria agrícola, que emplea tanques para almacenar agua, hasta la industria petroquímica, que demanda tanques especializados con altos estándares de seguridad para garantizar la integridad tanto de los participantes en el proceso como de las instalaciones que albergan dichos tanques. Las aplicaciones primordiales de estos tanques incluyen:

- Almacenamiento de gas.
- Almacenamiento de agua potable.
- Almacenamiento de combustible industrial.
- Almacenamiento de sustancias petroquímicas.
- Almacenamiento y tratamiento de aguas residuales o pluviales.

Adicionalmente, los tanques industriales se utilizan en diversos sectores, como la industria química para la producción de productos basados en polímeros, la industria siderúrgica, la industria cosmética, la industria de procesamiento de alimentos y bebidas, entre otros, con aplicaciones específicas adaptadas a las necesidades de cada sector [40].

### **2.12.2. Gas licuado del petróleo (GLP)**

El Gas Licuado del Petróleo (GLP) constituye un combustible resultante de la combinación de dos hidrocarburos principales, propano y butano, junto con otros en proporciones menores. Se obtiene mediante la refinación del crudo del petróleo o a través del proceso de separación del crudo o gas natural en los pozos de extracción. El GLP carece de color y olor de manera natural. Sin embargo, se le añade un agente fuertemente "odorizante" para facilitar la detección de posibles fugas. A temperaturas normales, el GLP se presenta en estado gaseoso. Sin embargo, al someterlo a presiones moderadas o enfriamiento, experimenta una transformación a estado líquido. En esta forma líquida, se puede transportar y almacenar de manera eficiente. Comúnmente, una vez enfriado o sometido a presión, el GLP se almacena en contenedores fabricados de acero o aluminio [41].

### **2.12.3. Tanques de almacenamiento de GLP**

Los recipientes destinados al resguardo de combustibles están concebidos para almacenar diversas variantes de este elemento, como gasolina, diésel, alcohol, ACPM, entre otros. Estos depósitos se configuran mediante el uso de resinas especiales y se ajustan a normativas internacionales.

La elección del tipo de tanque de almacenamiento depende del propósito y aplicación específicos; existen variedades como tanques fijos, aquellos que almacenan e inyectan combustible, tanques móviles, y tanques cisterna utilizados para el transporte de gasolina o diésel.

Dado el carácter especializado de los tanques de almacenamiento de combustible, la selección del proveedor es crucial, ya que es imperativo cumplir con los requisitos particulares que estos depósitos demandan [42]. Los contenedores destinados al almacenamiento y transporte del Gas Licuado de Petróleo (GLP) están diseñados específicamente con características cerradas y presurizadas para prevenir la pérdida de evaporación de los gases.

## CAPÍTULO III

### 3.1. DISEÑO DE SISTEMA PARARRAYO PDC

#### 3.1.1. Definición de caso de estudio

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1536, emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, establece requisitos de seguridad en plantas de almacenamiento y envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP) con el objetivo de prevenir incendios. En este contexto, la normativa destaca la necesidad de instalar pararrayos en todas las plantas de almacenamiento y envasado de GLP.

#### 3.1.2. Definición de densidad de descarga ( $N_g$ )

Tomaremos como referencia geográfica para la ubicación de nuestro diseño al cantón Durán, Guayas. Esta elección se fundamenta en la relevancia del sector industrial en esa área, que alberga el mayor número de empresas del sector alimenticio con plantas de producción. Esta definición se realiza a través del mapa isoceráunico global del software Nimbus Project.

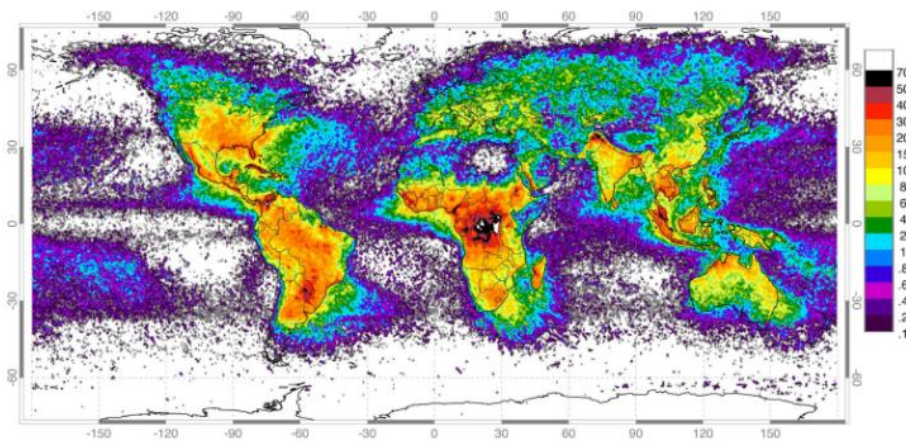


FIG 5: Mapa isoceráunico global.

Fuente: [14]

Basándonos en el mapa isoceráunico de la figura 5 la densidad de carga  $N_g$  en nuestro caso sería la siguiente:

$$N_g = 6 \frac{\text{rayos}}{\text{año}} \text{ km}^2$$

### 3.1.3. Cálculo del área de captación (Ae)

En el sector industrial el almacenamiento de GLP se da mediante tanques estacionarios , en su estudio sobre tanques de GLP, Martínez encontró que las dimensiones son determinados en base a su funcionalidad y seguridad, proporcionando así una tabla que nos indica las dimensiones habituales de los tanques.

TABLA 8: Dimensiones de tanques de almacenamiento de GLP.

CAP. ( m3 )	TIPO	DIÁMETRO	LARGO
0.5	A	750	1300
	S	750	1300
1	A	762	2230
	S	762	2230
2	A	1219	2100
	S	1219	2100
4	A	1219	3660
	S	1219	3660
7.3	A	1203	6660
	S	1203	6660

Basándonos en la tabla 8 hemos elegido el tanque de capacidad 7.3 m<sup>3</sup> debido a que es una práctica común que las industrias utilicen un tipo de tanque. En el sector industrial el almacenamiento de GLP se organiza formando grupos interconectados mediante una red de tuberías y válvulas que facilitan la transferencia eficiente de combustible a diferentes puntos de consumo.

Para nuestro caso de estudio, hemos decidido que nuestro sistema de tanques estará conformado por 4 tanques. Por ende, basándonos en las dimensiones del modelo de tanque elegido, el área a proteger tendría las siguientes medidas:

$$\mathbf{Altura = 4m}$$

$$\mathbf{Ancho = 7.75m}$$

$$\mathbf{Largo = 15m}$$

Se dibujó un plano en 3D para una visión más amplia de la zona de tanques, brindando una representación realista y detallada del entorno, como podemos observar en la figura (6) en el que podemos notar que nuestro caso la estructura no es un rectángulo perfecto por la naturaleza de los tanques.

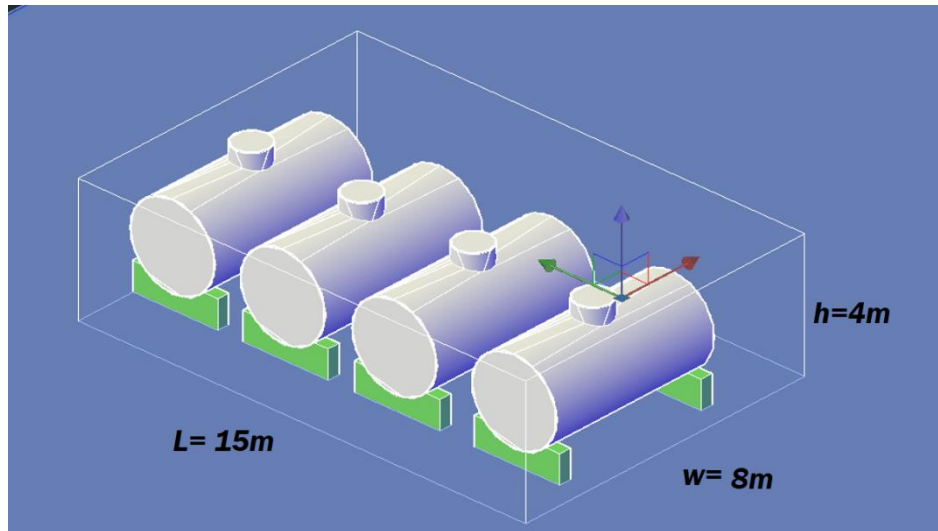


FIG 6: Dibujo 3D en Autocad del caso de estudio.

Fuente: Los autores.

Para calcular el área de captación utilizaremos la formula (6)

$$Ae = L * w + 6h(L + w) + (9 * \pi * h^2)$$

$$Ae = 15 * 8 + 6(4)(15 + 8) + (9 * \pi * 4^2)$$

$$Ae = 1124.389 \text{ m}^2$$

#### 3.1.4. Definición de coeficiente relación a su entorno (C1)

El coeficiente C1, relacionado con el entorno, se elige considerando las condiciones de nuestro caso de estudio las cuales compararemos a la tabla (C1). Considerando que la zona de tanques generalmente se encuentra asilada del resto de la planta por su contenido inflamable, asignamos un valor de 1

$$C1 = 1$$

### 3.1.5. Cálculo de riesgo admisible (Na)

El riesgo admisible en el impacto de rayos se evalúa considerando variables clave. Para calcularlo utilizaremos la formula (7)

$$Na = \frac{5.5}{C2 * C3 * C4 * C5} 10^{-3}$$

C2 conforme a la tabla 3 , al ser nuestra zona de estructura metálica que contienen material inflamable, se define que sería:

$$C2 = 2$$

C3 de acuerdo a la tabla 4, dado que es nuestro caso es un conjunto de estructuras de almacenamiento de combustible, se establece que corresponde a:

$$C3 = 5$$

C4 siguiendo los parámetros de la tabla 5, tomando en cuenta que nuestro caso no posee operarios en su interior y por ende no suele estar ocupado, se determina que es:

$$C4 = 0.5$$

De acuerdo con la tabla 6, al sufrir daños la estructura esto afectaría el servicio de GLP, por lo que el coeficiente sería:

$$C5 = 5$$

Una vez definido los coeficientes, procedemos a calcular el riesgo admisible:

$$Na = \frac{5.5}{C2 * C3 * C4 * C5} 10^{-3}$$

$$Na = \frac{5.5}{2 * 5 * 0.50 * 5} 10^{-3}$$

$$Na = 0.00022$$

### 3.1.6. Cálculo de la frecuencia esperada de impacto (Ne)

Una vez que hemos calculado todos los parámetros involucrados en la ecuación (5), procedemos a realizar el cálculo:

$$Ne = Ng * Ae * C1 * 10^{-6} \text{ (N}^\circ \text{ impactos/año)}$$

$$Ne = 6 * 1124.389 * 1 * 10^{-6} \text{ (N}^\circ \text{ impactos/año)}$$

$$Ne = 0.00674 \text{ (N}^\circ \text{ impactos/año)}$$

### 3.1.7. Cálculo de la eficiencia de nivel de protección

La eficiencia  $Efs$  la calcularemos utilizando la fórmula (8) :

$$Efs = 1 - \frac{Na}{Ne}$$

$$Efs = 1 - \frac{0.00022}{0.00674}$$

$$Efs = 0.97$$

Puesto que para definir el nivel de protección se debe hallar primero el valor de la eficiencia  $E$ , procedemos a tomar este valor calculado y compararlo con la tabla (7) la cual nos indica que el nivel de protección en nuestro sistema es Nivel 2.

### 3.1.8. Definición del radio de protección del sistema

Los pararrayos equipados con dispositivo de cebado (PDC) tienen un radio de protección determinado por el nivel de protección requerido. Para definir dicho radio, en nuestro caso, con un nivel de protección establecido en el Nivel 2, un sistema con altura máxima de 4 metros y siguiendo la información del catálogo de la marca Cirprotec para la línea de pararrayos Nimbus, el pararrayos seleccionado para nuestro diseño debe tener un avance de cebado ( $\Delta T$ ) de 30  $\mu s$  según la tabla (1).

### 3.1.9. Cálculo del calibre del conductor ( $Ar$ )

Con base en la ficha técnica del pararrayos seleccionado, que especifica su capacidad máxima de descarga de 200kA, emplearemos esta corriente para determinar la sección transversal del conductor. Utilizaremos la ecuación (1) para calcular el calibre del cable en  $mm^2$

$$Ar = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{Tcap \times 10^{-4}}{tf * ar * pr}\right) \ln\left(\frac{K0 + Tm}{K0 + Ta}\right)}}$$

$$Ar = \frac{200}{\sqrt{\left(\frac{3.8 \times 10^{-4}}{0.003 * 0.00378 * 4.40}\right) \ln\left(\frac{245 + 1084}{245 + 20}\right)}}$$

$$Ar = 57.07 \text{ mm}^2$$

Una vez finalizado el cálculo del área de la sección transversal del conductor, determinamos que el conductor óptimo para nuestro sistema es de calibre 2/0.

### 3.1.10. Cálculo del voltaje de toque y paso

Después de determinar el calibre del conductor, se procede a calcular las tensiones de toque y paso utilizando las ecuaciones (2) y (4). En nuestro caso de estudio, tomando en cuenta que los terrenos comunes en las instalaciones industriales son de naturaleza pedregosa y cubiertos con césped, se definió una resistividad del terreno de  $500 \Omega \cdot \text{m}$  considerando la tabla 9.

TABLA 9: Resistividad del terreno.

Fuente: [43]

<b>Naturaleza terreno</b>	<b>Resistividad en <math>\Omega \cdot \text{m}</math></b>
<b>Terrenos pantanosos</b>	<b><math>\pm 3</math> a <b>30</b></b>
<b>Limo</b>	<b>20 a 100</b>
<b>Humus</b>	<b>10 a 150</b>
<b>Turba húmeda</b>	<b>5 a 100</b>
<b>Arcilla plástica</b>	<b>50</b>
<b>Margas y Arcillas compactas</b>	<b>100 a 200</b>
<b>Margas del Jurásico</b>	<b>30 a 40</b>
<b>Arena arcillosas</b>	<b>50 a 500</b>
<b>Arena sílice</b>	<b>200 a 3000</b>
<b>Suelo pedregoso cubierto de césped</b>	<b>300 a 5000</b>
<b>Suelo pedregoso desnudo</b>	<b>1500 a 3000</b>
<b>Calizas blandas</b>	<b>100 a 300</b>
<b>Calizas compactas</b>	<b>1000 a 5000</b>
<b>Calizas agrietadas</b>	<b>500 a 1000</b>
<b>Pizarras</b>	<b>50 a 300</b>
<b>Roca de mica y cuarzo</b>	<b>800</b>
<b>Granitos y gres procedente de alteración</b>	<b>1500 a 10000</b>
<b>Granito y gres muy alterado</b>	<b>100 a 600</b>



$$C_s = 1 - \frac{\left(1 - \frac{\rho_s}{\rho}\right)}{2hs + 0.09}$$

En nuestro caso consideraremos un suelo que tiene:

$$\rho_s \text{ (mejoramiento del terreno)} = 20 \Omega \cdot m$$

$$\rho \text{ (resistividad del terreno)} = 500 \Omega \cdot m$$

$$hs \text{ (espesor del suelo)} = 0.25m$$

Utilizando la Ecuación (3) obtenemos:

$$C_s = 1 - \frac{\left(1 - \frac{20}{500}\right)}{2(0.25) + 0.09}$$

$$C_s = 0.853$$

$$E_{toque} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{ts}}$$

La duración de la corriente de choque (ts) tendrá un tiempo de 0,003 segundos, dado por los datos técnicos del pararrayo. Procedemos con el cálculo del voltaje de toque (2) y voltaje de paso (4)

$$E_{toque} = (1000 + 1.5(0.853)(500)) \frac{0.157}{\sqrt{0.003}}$$

$$E_{toque} = 4845.81 V$$

$$E_{paso} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{ts}}$$

$$E_{paso} = (1000 + 6(0.853)(500)) \frac{0.157}{\sqrt{0.003}}$$

$$E_{paso} = 10784.03 V$$

### 3.1.11. Cálculo de resistencia de malla en arreglo triangular

Para iniciar el cálculo de la malla de puesta a tierra triangular, utilizaremos las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) previamente definidas en el marco teórico para determinar las dimensiones óptimas del sistema.

$$R_1 = \frac{\rho}{3\pi d} \left[ \ln\left(\frac{6d}{a'}\right) + \frac{3k_1 * d}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

En nuestro caso se considera que:

$$\rho = 500 \Omega \cdot m$$

$$d = 0.75m$$

$$a' = 0.5 m$$

$$A = 0.50m$$

Con estos datos, procedemos a realizar el cálculo de la resistencia del conductor del suelo utilizando la Ecuación (9):

$$R1 = \frac{500}{3\pi * 1} \left[ \ln \left( \frac{6 * 1}{0.5} \right) + \frac{3 * 1 * 1}{\sqrt{0.50}} - 1 \right]$$

$$R1 = 170.31 \Omega$$

Luego calculamos la resistencia de las varillas al suelo utilizando la Ecuación (10):

$$R2 = \frac{500}{6\pi * 2} \left[ \ln \left( \frac{4 * 2}{0.014} \right) - 1 + \frac{2 * 1 * 2}{\sqrt{0.50}} (\sqrt{3} - 1)^2 \right]$$

$$R2 = 111.13 \Omega$$

Con la Ecuación (11) calculamos la resistencia del conductor del suelo:

$$Rm = \left| 170.31 - \left( \frac{500}{3\pi * 1} \right) \left[ \ln \left( \frac{2}{\sqrt{0.5 * 2(0.005)}} \right) - 1 \right] \right|$$

$$Rm = 46.04 \Omega$$

Y luego de obtener cada una de las resistencias anteriormente mencionadas, hacemos uso de la Ecuación (12) para calcular la resistencia total de la malla:

$$Rg = \frac{170.31 * 111.13 + 46.04^2}{170.31 * 111.13 * (2 * 46.04)}$$

$$Rg = 2.02 \Omega$$

De acuerdo con el enfoque de Schwartz, se indica que la resistencia de la malla puede oscilar entre un valor mínimo de 0.978 ohmios y un máximo de 5.66 ohmios. En nuestra situación, hemos logrado obtener una resistencia de malla de  $2.02\Omega$  la cual se sitúa dentro de los rangos considerados aceptables según este método. Con estos valores determinados, procedemos con el desarrollo de la simulación de nuestro caso de estudio.

## 3.2. SIMULACIÓN EN SOFTWARE NIMBUS PROJECT DESIGNER

### 3.2.1. Diagrama de flujo del software

Una vez se han recopilado los datos del sistema utilizando los cálculos mencionados en el apartado anterior, estamos listos para llevar a cabo la simulación de este por medio del software Nimbus Project Designer.



FIG 7: Software Nimbus Project Designer.

Fuente: [44]

En el software mencionado, se elaboró un diagrama de flujo para una mejor comprensión de este, detallando el paso a paso de su funcionamiento de manera visual.

Por medio del cual se especifica cada uno de los procesos que se toman al momento de la simulación del caso.

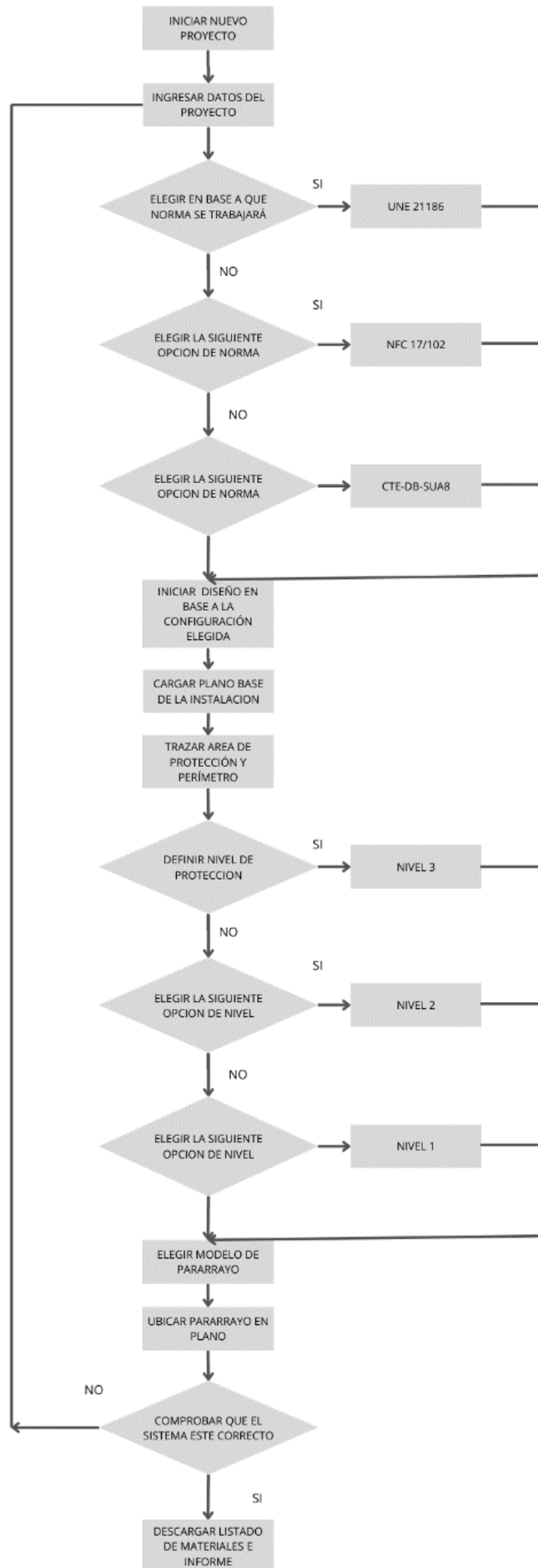


FIG 8: Diagrama de flujo del software.

Fuente: Los autores.

### 3.2.2. Simulación del software

**Paso 1:** Abrimos el software y le damos clic a iniciar nuevo proyecto, aquí procedemos a ingresar los datos del proyecto como los datos de la persona que lo está simulando, el cliente a quien se entregará el proyecto y la norma en la que se basará, en nuestro caso es el CTE SUA 8

The screenshot shows a software interface with a progress bar at the top. The progress bar has six steps: 'Datos del proyecto' (highlighted with a green circle), 'Diseño de la instalación', 'Nivel de protección', 'Optimizador de buses', 'Listado de materiales', and 'Informe del proyecto'. Below the progress bar, there are three main sections:

- DATOS DEL PROYECTO:**
  - CÓDIGO DE PROYECTO: 0001
  - FECHA DE CREACIÓN: 22/01/2024
  - NOMBRE: Caso de estudio TANQUES GLP
  - UBICACIÓN: Guayaquil
- DATOS NORMATIVOS:**
  - NORMATIVA DE REFERENCIA: CTE-OB-SUA8:2010
  - TIPO DE CONDUCTOR BAJANTE: Cable 70mm2
  - MARGEN DE SEGURIDAD DE ACCESORIOS: 0%
  - PROYECTO ICPE (SOLO APLICABLE PARA NORMA NF C)
  - PARARRAYOS: SELECCIONE UN MODELO DE PARARRAYOS
- DATOS DEL CLIENTE DEL PROYECTO:**
  - EMPRESA: Universidad Politécnica Salesiana
  - PERSONA DE CONTACTO: Roxana Aguilera Henry Muñoz
  - CORREO ELECTRÓNICO DE CONTACTO: nombra@empresa.com
  - NÚMERO DE TELÉFONO DE CONTACTO: Número de teléfono

At the bottom right of the 'DATOS DEL CLIENTE DEL PROYECTO' section, there is a note: 'Esta información aparecerá en el informe del proyecto.'

FIG 9: Paso 1 - Datos del proyecto.

Fuente: Los autores.

**Paso 2:** Una vez elegida la configuración procedemos a iniciar el diseño, empezamos cargando el plano base que nos dará una idea visual del sistema

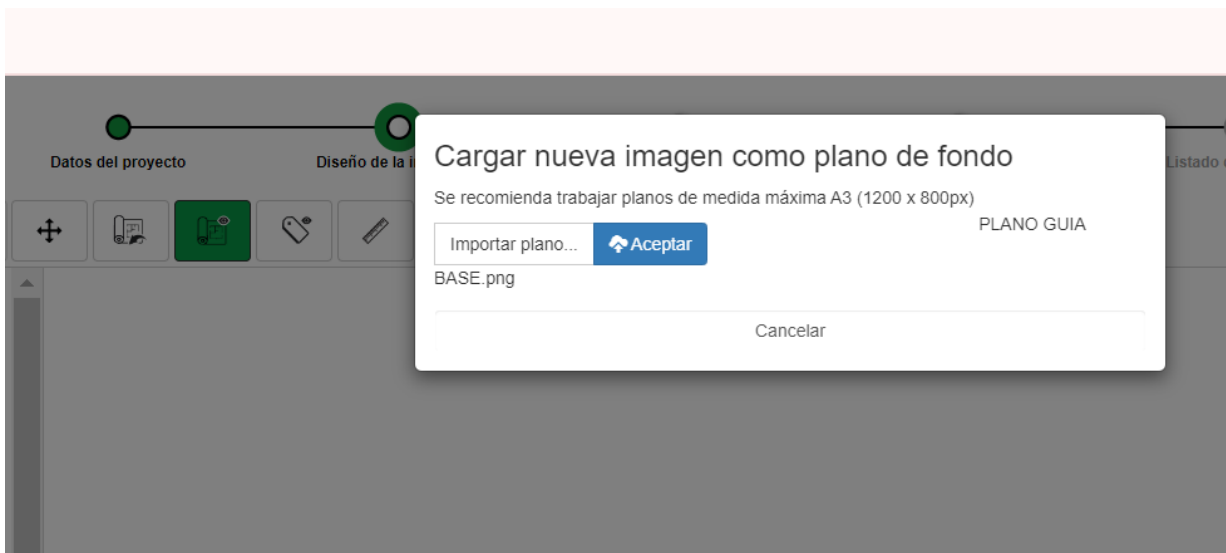


FIG 10: Paso 2 - Diseño del sistema.

Fuente: Los autores.

**Paso 3:** Trazar el área de protección de las estructuras y el perímetro total de la zona. Una vez trazados se define el nivel de protección, en nuestro caso es Nivel 2

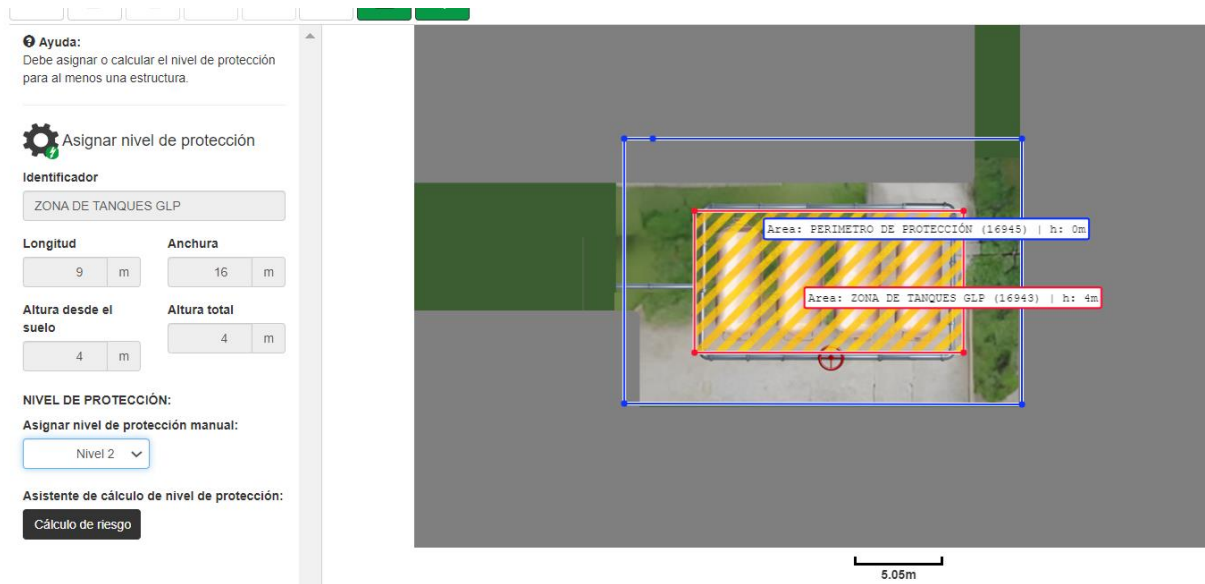


FIG 11: Paso 3 - Trazo de área.

Fuente: Los autores.

**Paso 4:** Elegir modelo de pararrayo y ubicarlo en el plano, en nuestro caso elegimos el Nimbus 15 y lo ubicamos dentro del perímetro de protección. Una vez ubicado el pararrayo nos aseguramos de que la simulación se torne color verde, lo que nos indica que funciona.

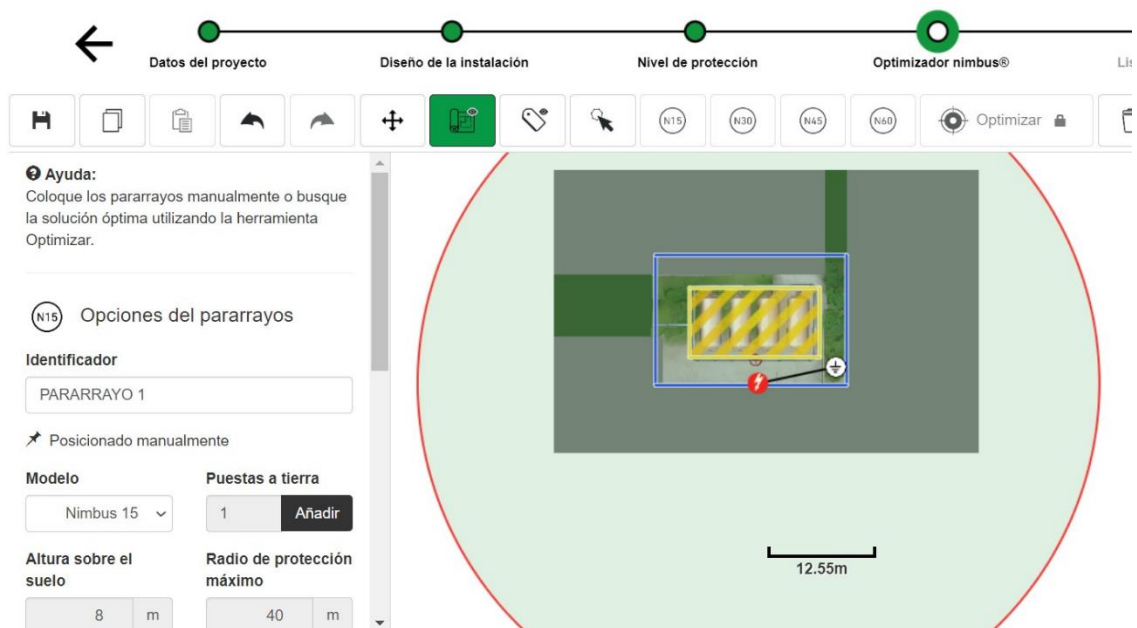


FIG 12: Paso 4 - Modelo de pararrayo.

Fuente: Los autores.

**Paso 5:** Se presenta el listado de materiales y se presenta el sistema antes de terminar la simulación, debe de mostrarse la lista de materiales y el diagrama en verde para confirmar que la simulación está correcta.



FIG 13: Paso 5 - Presentación del sistema.

Fuente: Los autores.

**Paso 6:** Se procede a descargar el informe completo de la simulación y las fichas técnicas del listado de materiales. La simulación ha concluido.

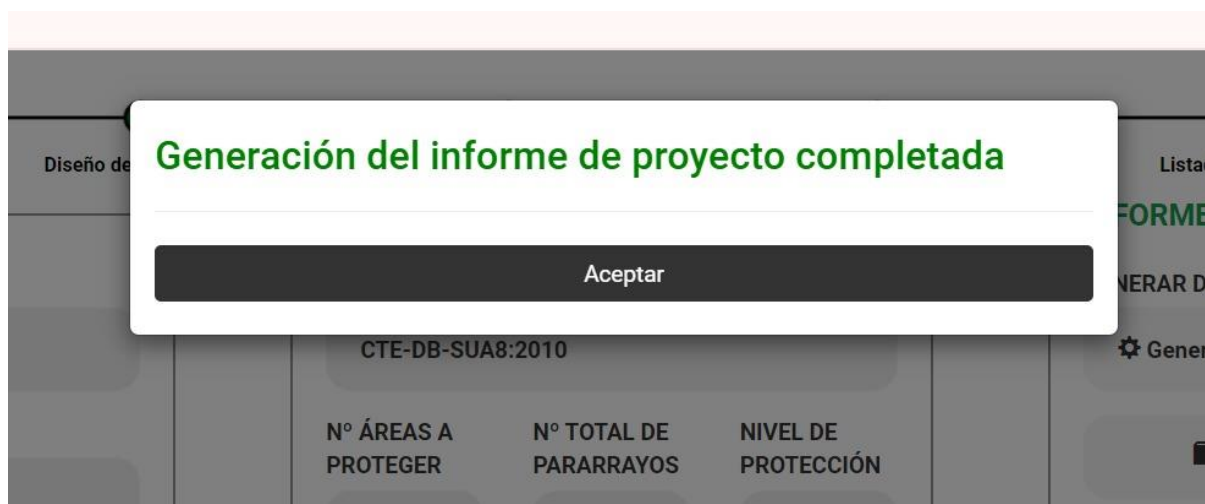


FIG 14: Paso 6 - Entrega de informe

Fuente: Los autores.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS

- El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas en zonas de tanques GLP, realizado mediante el software Nimbus Project Designer, demuestra ser una herramienta efectiva para cumplir con los objetivos planteados. La simulación en el software confirma la eficacia del diseño, asegurando una cobertura adecuada y el cumplimiento de las normativas INEN, CTE SUA8 e IEEE 80.
- El modelo de pararrayos Nimbus 15 ha cumplido con las expectativas de cubrir completamente el área de protección establecida, validado por cálculos y simulación en el software.
- Se logró una resistividad de la malla dentro del rango ideal, con un valor medido de 2,02 ohmios, conforme al enfoque de Schwartz. Esta cifra garantizó una disipación eficiente de corrientes eléctricas durante descargas atmosféricas.
- Utilizando el avanzado software Nimbus Project Designer, llevamos a cabo una detallada proyección en 3D para evaluar la eficacia del modelo Nimbus 15 y su capacidad de protección. Gracias a este análisis exhaustivo, pudimos verificar con certeza que el diseño del modelo Nimbus 15 cumple con los estándares requeridos y proporciona una cobertura adecuada para garantizar la seguridad y la eficiencia del sistema en cuestión." una proyección 3D en el software Nimbus Project Designer podemos comprobar en efecto el modelo Nimbus 15 y su radio de protección satisface el sistema.

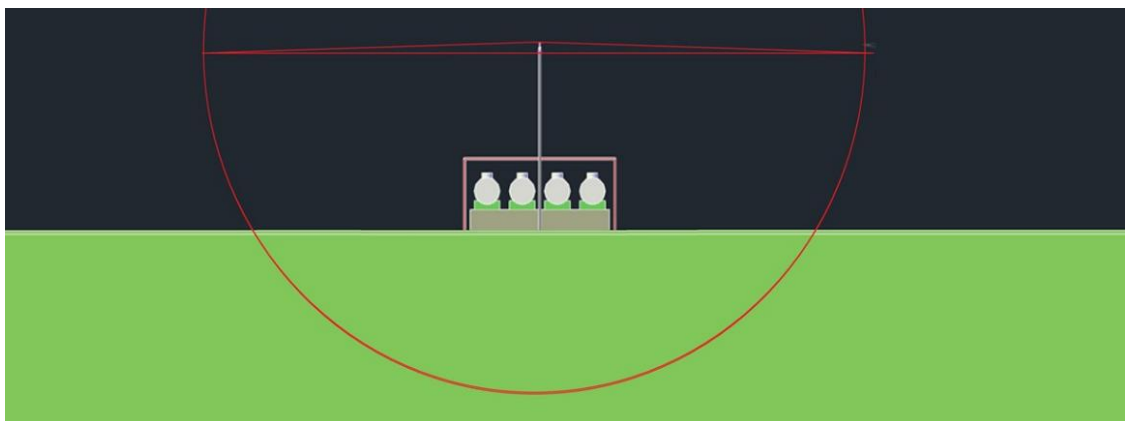


FIG 15: Dibujo 3D del radio de protección del sistema.

Fuente: Los autores.



- Con la realización de este trabajo, pudimos evaluar por medio de fórmulas las condiciones climáticas y estructurales de las zonas destinadas a la protección en contra de descargas eléctricas. Entre los cálculos más relevantes tenemos:
- El cálculo del área de captación, que resultó en 1124.389 m<sup>2</sup>. Esta área representa la superficie expuesta a posibles descargas atmosféricas que pueden afectar al sistema.
- El resultado del cálculo del riesgo admisible fue de 0.00022. Este valor indica el nivel de riesgo aceptable para el sistema en términos de impacto de descargas atmosféricas.
- La frecuencia esperada de impacto se determinó como 0.00674 (número de impactos por año). Este valor proporciona una estimación de la frecuencia con la que se espera que ocurran descargas atmosféricas en la zona.
- El cálculo de la eficiencia del sistema de protección dio un valor de 0.97 como resultado. Este valor indica la capacidad del sistema para proteger el área determinada contra descargas atmosféricas y así poder reducir el riesgo asociado.
- Se determinó un calibre de conductor de 57.07 mm<sup>2</sup>. Este valor representa la sección transversal del conductor utilizado en el sistema de protección.
- El voltaje de toque se calculó como 4845.81 V, mientras que el voltaje de paso fue de 10784.03 V. Estos valores son críticos para evaluar la seguridad del sistema y proteger contra descargas eléctricas.
- Estos y otros valores relevantes en nuestra investigación que destacan la necesidad crucial de instalar un sistema de pararrayos en tanques de GLP son mostrados a continuación en la siguiente tabla:

TABLA 10: Valores obtenidos.

Fuente: Los autores.

<b><u>VALORES OBTENIDOS</u></b>	
<b>ECUACIONES UTILIZADAS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Área de captación (Ae)	1124.389 m <sup>2</sup>
Riesgo admisible (Na)	0.00022
Frecuencia esperada de impacto (Ne)	0.00674 (Nº impactos/año)
Eficiencia del nivel de protección (Efs)	0.97
Calibre del conductor (Ar)	57.07 mm <sup>2</sup>
Voltaje de toque (Etoque)	4845.81 V
Voltaje de paso (Epasso)	10784.03 V
Resistencia del conductor del suelo (R1)	170.31 Ω
Resistencia de las varillas al suelo (R2)	111.13 Ω
Resistencia compartida entre mallas y varillas (Rm)	46.04 Ω
Resistencia total de la malla (Rg)	2.02 Ω

## CONCLUSIONES

- El uso del software, además de agilizar el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, proporciona información detallada, como informes y listas de materiales, que resultan invaluable tanto para el cliente como para el usuario interno, garantizando una implementación eficiente y una comprensión clara del proyecto.
- Los resultados de los cálculos de riesgo destacan la necesidad crucial de instalar un sistema de pararrayos en tanques de GLP. La ausencia de esta protección podría representar un peligro significativo, subrayando la importancia de seguir las normativas de seguridad para salvaguardar tanto la infraestructura como la seguridad de las personas involucradas.
- La coherencia entre los valores obtenidos y los resultados de la simulación demuestran la precisión y fiabilidad del diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas. Esta congruencia valida la eficacia del enfoque utilizado, proporcionando confianza en la implementación del sistema para garantizar una protección óptima.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar el uso de mejoradores de suelo para incrementar la resistencia de la malla de puesta a tierra. Esta medida puede ayudar a optimizar la eficacia del sistema de protección contra descargas atmosféricas, garantizando una adecuada disipación de corrientes eléctricas y fortaleciendo la seguridad de la infraestructura.
- Se sugiere la utilización exclusiva de equipos certificados, como los de la marca Cirprotec, para asegurar la calidad y confiabilidad del sistema de protección contra descargas atmosféricas. Estos equipos cumplen con estándares reconocidos internacionalmente, proporcionando una protección efectiva y confiable contra eventos atmosféricos.

- Es recomendable proporcionar un informe detallado cada vez que se entregue e instale un sistema de protección. Esto asegura que el sistema cumpla con su propósito de proteger la estructura y sus ocupantes contra descargas atmosféricas. Además, proporciona transparencia y documentación necesaria para futuras evaluaciones y mantenimiento del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. M. Fernández, “SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS,” *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla*, 2015.
- [2] “Striking New Ground | Earthdata.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/striking-new-ground>
- [3] “(6) Vídeo | Facebook.” Accessed: Feb. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.facebook.com/watch/?v=443546423717230>
- [4] “¿Qué son las sobretensiones y qué daños producen? – key Business Process Solutions.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.keybps.com/que-son-las-sobretensiones-y-que-danos-producen>
- [5] “Sobretensiones Transitorias (DPS) / DPS / Protección contra sobretensiones / Área de conocimiento / Soporte / Inicio - Cirprotec.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Area-de-conocimiento/Proteccion-contra-sobretensiones/DPS/Sobretensiones-Transitorias-DPS>
- [6] “Sobretensiones permanentes: qué son - Aplicaciones Tecnológicas.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://at3w.com/blog/sobretensiones-permanentes-que-son-que-danos-pueden-causar-tipos-proteccion-adecuadas/>
- [7] “Empresa | Cirprotec.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <http://www.cirprotec.com/es/Empresa>
- [8] “Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC) nimbus | Cirprotec.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <http://www.cirprotec.com/es/Pararrayos/Sistema-de-decaptacion/Pararrayos-con-dispositivo-de-cebado-PDC/nimbus/nimbus>
- [9] “Sistema de Pararrayos; su importancia para la seguridad del edificio – Afinidad Eléctrica.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://afinidadelctrica.com/2020/05/18/sistema-de-pararrayos-su-importancia-para-la-seguridad-del-edificio/>
- [10] “Pieza adaptación | INGESCO.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.ingesco.com/es/productos/pieza-adaptacion>
- [11] “MÁSTILES DE PARARRAYOS - Mastil - Cenergia.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://cenergia.com.pe/mastiles-de-pararrayosmastil/>
- [12] “Protección externa contra el rayo | Cirprotec.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <http://www.cirprotec.com/es/Pararrayos>

- [13] “nimbus project designer.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.cirprotec.es/nimbusprojectdesigner>
- [14] “NIMBUS PROJECT DESIGNER de Cirprotec.” Accessed: Dec. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.nougrup-aie.com/nimbus-project-designer-de-cirprotec/>
- [15] “Conoce más sobre NFPA | La National Fire Protection Association.” Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/es/About-NFPA>
- [16] “NFPA normas de protección contra incendios - Inducom Ecuador.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://inducom-ec.com/nfpa-normas-de-proteccion-contra-incendios/>
- [17] “Compra NFPA 780, Norma.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/es/product/norma-nfpa-780/p0780code>
- [18] “NFPA 780: Instalación de Sistemas Protección Rayos - Infoteknico.” Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: [https://www.infoteknico.com/nfpa-780/#Cumplimiento\\_con\\_la\\_NFPA\\_780](https://www.infoteknico.com/nfpa-780/#Cumplimiento_con_la_NFPA_780)
- [19] R. Flores-Guerrero, “DISEÑO DE PROTECCIONES ATMOSFÉRICAS EXTERNAS SEGÚN NORMAS NFPA 780-CASO EDIFICIO ‘E’-UDEP,” PIURA, Feb. 2019.
- [20] “BS EN IEC 62305 Norma de protección contra rayos.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.lsp-international.com/es/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>
- [21] “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 536:98 PREVENCIÓN DE INCENDIOS. REQUISITOS DE SEGURIDAD EN PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y ENVASADO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).,” QUITO.
- [22] “UNE-21186 ‘PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS, EDIFICACIONES Y ZONAS ABIERTAS MEDIANTE PARARRAYOS CON DISPOSITIVOS DE CEBADO’”.
- [23] B. Hermoso Alameda and M. Aguado Alonso, “La protección contra el rayo en la normativa española.”
- [24] “Rayo, propagación, obligación y normas – France Paratonnerres.” Accessed: Jan. 31, 2024. [Online]. Available: <https://ioniflash.com/es/el-rayo/>
- [25] C. R. Astudillo Ochoa and M. V. Cajamarca Curillo, “CÁLCULO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA APLICACIÓN DE LA NORMA IEEE 80-2000’,” CUENCA, 2012.
- [26] “¿Cómo se realiza el cálculo de conductores eléctricos? | EEGSA.” Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://eegsa.com.mx/blog/calculo-de-conductores->

- electricos/
- [27] IEEE Power and Energy Society, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding,” *IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015)*, no. February, pp. 1–226, 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2015.7109078.
- [28] M. Hannig and R. Brocke, “Numerical Simulation of Permissible Touch Voltages in Case of a Lightning Incidence,” in *ICLP 2022 - 36th International Conference on Lightning Protection*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 583–588. doi: 10.1109/ICLP56858.2022.9942643.
- [29] “Tension de paso y contacto: evitar riesgos a las personas - AT3w.” Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://at3w.com/blog/evitar-riesgos-por-tension-de-paso-y-contacto/>
- [30] “Ámbito de aplicación.” Accessed: Jan. 31, 2024. [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/AmbitoDeAplicacion.html>
- [31] “Documento Básico SUA (Seguridad de utilización y accesibilidad),” Jun. 2022.
- [32] “AYUDA - CTE SU-8 SEGURIDAD FRENTE AL RIESGO CAUSADO POR AL ACCION DE RAYO.” Accessed: Feb. 01, 2024. [Online]. Available: <http://konstruir.com/C.T.E/SU-8-Seguridad-frente-al-riesgo-por-la-accion-del-rayo/ayuda.php>
- [33] “Sección SU 8 Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo.”
- [34] “DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL RAYO. PARÁMETROS”.
- [35] F. M. Sinchi Sinchi, “DISEÑO Y DETERMINACIÓN DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO CON ELEMENTOS COMUNES UTILIZADOS EN LA REGIÓN, INCLUYENDO GEM Y ELECTRODO QUÍMICO,” CUENCA, Jul. 2017.
- [36] “Calcular el radio de protección de un pararrayos PDC - AT3w.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://at3w.com/blog/calculo-del-volumen-protegido-por-un-pararrayos-con-dispositivo-de-cebado-pdc-dos-formas-validas-de-identicos-resultados/>
- [37] “BS EN IEC 62305 Norma de protección contra rayos.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.lsp-international.com/es/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>
- [38] “Tanques de almacenamiento: guía con todo lo que necesitas saber.” Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://grupoacura.com/es/blog/tanques-de->

- almacenamiento/
- [39] “Tanques Industriales | Principales aplicaciones | PLAREMESA®.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.plaremesa.net/que-son-los-tanques-industriales/>
- [40] “TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO | Wattco Industrial Heater Systems.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.wattco.com/es/2023/06/tipos-de-tanques-de-almacenamiento/>
- [41] “¿Qué es el GLP? - GASNOVA.” Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/>
- [42] “TODO SOBRE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: <https://serprogas.com.gt/tanques-de-almacenamiento-de-combustible/>
- [43] J. A. HUMBERTO SANZ Ingeniero Electricista, E. Profesor Asociado, E. C. DUQUE Ingeniero Electrónico, M. Sc Profesor Asociado, and S. GÓMEZ ESTRADA Ingeniero Electricista Profesor Auxiliar, “Abril de 2010,” *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 44.
- [44] “¡Nuevo! nimbus® project designer / Nimbus Software / Software Cirprotec / Soporte / Inicio - Cirprotec.” Accessed: Mar. 05, 2024. [Online]. Available: <http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Software-Cirprotec/Nimbus-Software/!Nuevo!-nimbus-R-project-designer>



## **ANEXOS**

**cirprotec**

## **Informe de Proyecto**

Caso de estudio TANQUES GLP  
Guayaquil  
CTE-DB-SUA8:2010  
Universidad Politécnica Salesiana  
2024-01-22

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
a. Acerca del software	3
b. Limitaciones del estudio	3
c. Responsabilidades sobre el software	3
d. Política de protección de datos	4
e. Explicación de la tecnología de avance de cebado	4
<b>2. Datos generales de proyecto</b>	<b>5</b>
a. Normativas de aplicación	5
b. Datos del proyecto	5
<b>3. Diseño de la instalación</b>	<b>7</b>
a. Esquema general de la instalación	7
b. Identificación de zonas y estructuras	8
c. Determinación del riesgo y nivel de protección	9
<b>4. Solución propuesta</b>	<b>10</b>
a. Esquema general de la instalación	10
b. Identificación de los pararrayos	11
c. Identificación de elementos de puesta a tierra	12
d. Lista de materiales global para instalación de pararrayos	13
e. Lista de material por cada pararrayos	15
f. Funcionamiento del cálculo de optimización de pararrayos	16

## 1. Introducción

### a. Acerca del software

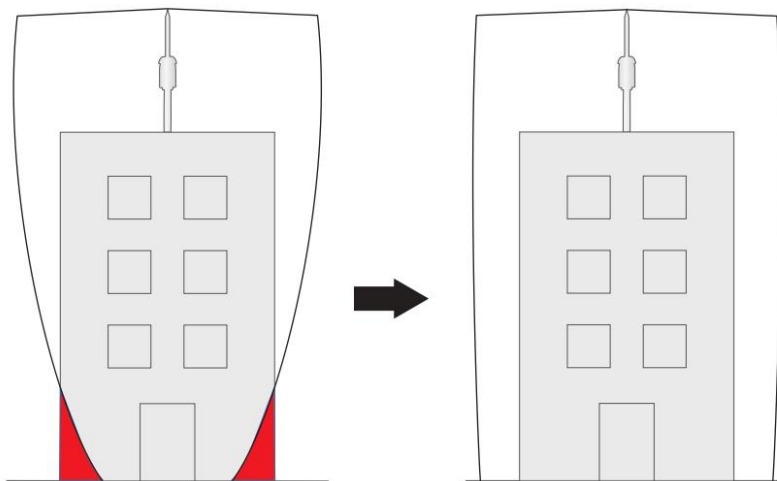
Este estudio ha sido realizado mediante el software de cálculo de pararrayos nimbus® project designer de Cirprotec. El alcance de este software es realizar un estudio basado en normativas nacionales e internacionales, del nivel de riesgo de la instalación ante los efectos del rayo; proponiendo soluciones basadas en pararrayos de tipo PDC y sus accesorios para instalación y puesta a tierra.

Los resultados obtenidos mediante este software son de carácter orientativo y aproximado, y en ningún caso pueden sustituir un diseño completo de la instalación realizado in situ por un especialista.

### b. Limitaciones del estudio

Para facilitar el uso y simplificar los procesos de cálculo del software nimbus® project designer, se toman una serie de simplificaciones durante la realización del proyecto. Se trata de los siguientes:

- Por defecto y a menos que se compongan varios elementos, el terreno del área a proteger se considera de una altura uniforme, así como los tejados de las diferentes estructuras
- A la hora de hacer el cálculo de riesgo de la instalación, y para una misma área a proteger, se considera un nivel de riesgo global, tomando el más restrictivo de los calculados o introducidos manualmente.
- No se tienen en cuenta las reducciones de radio de protección debido a la altura, siendo ésta una simplificación aceptada y sugerida por las normativas.



Ejemplo: nimbus® 60 en nivel de protección 2 sobre edificio de 100 metros de altura. Radio real vs simplificación.

### c. Responsabilidades sobre el software

El contenido del informe del proyecto ha sido generado a partir de la información aportada por el usuario, teniendo en cuenta las limitaciones y simplificaciones especificadas anteriormente (El optimizador nimbus® propone soluciones en base a criterios de coste de, todo el sistema de protección contra el rayo (SPCR) de la instalación y no solamente del número de pararrayos).

Cirprotec, S.L.U. no se hace responsable bajo ningún concepto de la solución de protección propuesta, que será responsabilidad exclusiva del usuario del software. En ningún caso, Cirprotec, S.L.U. se hará responsable de cualquier daño directo o indirecto, daños materiales o inmateriales (tales como pérdida de ingresos, pérdida de beneficios, interrupción de las operaciones, costes financieros, pérdida de pedidos, etc.), producidos

al usuario de software y/o a un tercero (incluidos sus empleados y productos), como consecuencia del uso del software y/o la solución de protección por parte del usuario del software o el tercero. Como tal, el usuario del software renuncia a cualquier reclamación contra de Cirprotec, S.L.U. y/o sus compañías de seguros y garantías de Cirprotec, S.L.U. y a sus reclamos sobre cualquier otra compañía de seguros de terceros.

#### d. Política de protección de datos

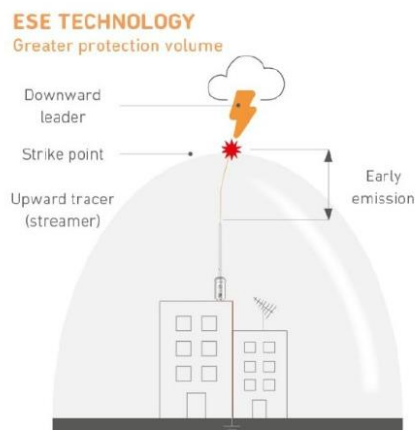
La base legal para el tratamiento de sus datos es la obtención del consentimiento del usuario del fichero. Por ello CIRPROTEC, S.L.U. solicita su consentimiento para tratar sus datos con el fin de gestionar el acceso a la aplicación WEB y firmar el informe del proyecto.

Le informamos que, si lo desea, puede ejercer los derechos que el RGPD 679/2016 reconoce a las personas interesadas en acceder a sus datos, a solicitar la rectificación de los datos inexactos, a oponerse al tratamiento de sus datos en determinadas circunstancias, a cancelar el tratamiento de sus datos en determinadas circunstancias, a solicitar la supresión de sus datos cuando los datos ya no fueran necesarios para la finalidad para la que se recogieron, al olvido, a la limitación del tratamiento y a la portabilidad de los datos, dirigiéndose por escrito a [datos@cirprotec.com](mailto:datos@cirprotec.com) con copia de su DNI.

#### e. Explicación de la tecnología de avance de cebado

Durante el proyecto todos los cálculos se han realizado tomando como referencia los pararrayos activos con dispositivo de cebado electrónico PDC.

Este tipo de dispositivos basan su tecnología en la generación de pulsos de alta frecuencia que rompen la rigidez dieléctrica del aire, facilitando la descarga del rayo hasta el propio pararrayos; cubriendo así una mayor área que una punta Franklin.



La diferencia entre la altura donde llega el trazador de una Punta Franklin y el trazador de un Pararrayos Activo (PDC) se denomina avance de cebado o tiempo de avance de cebado ( $\Delta t$ ). Este se obtiene gracias a la emisión anticipada del trazador ascendente.

La tecnología PDC se sirve del gradiente atmosférico para generar una ionización tal que permite aumentar la altura del punto de impacto del rayo, lo que incrementa el volumen protegido. Esto facilita la protección de grandes áreas, simplificando y reduciendo costes de material e instalación.

## 2. Datos generales de proyecto

### a. Normativas de aplicación

En el presente documento se contemplan las siguientes normativas

- CTE-DB-SUA8:2010. Código técnico de edificación español, apartado 8 (seguridad ante el riesgo causado por la acción del rayo).  
En el código técnico, se determina la necesidad de protección contra el rayo en el caso de que la frecuencia esperada de impactos sea mayor que el riesgo admisible. Además, en particular, los edificios en los que se manipulen sustancias tóxicas, radioactivas, altamente inflamables o explosivas y los edificios cuya altura sea superior a 43m dispondrán siempre de sistemas de protección contra el rayo con nivel de protección 1.
- IEC 62561:2011. Normativa internacional de componentes de los sistemas de protección contra el rayo  
En esta norma se especifican las características de los elementos que forman parte de un sistema de protección contra el rayo, teniendo a su vez 7 apartados:
  1. Requisitos de los componentes de conexión.
  2. Requisitos para los conductores y electrodos de puesta a tierra.
  3. Requisitos para explosores aislantes.
  4. Requisitos para las fijaciones del conductor.
  5. Requisitos para las arquetas de inspección de los electrodos de tierra y para el sellado de los electrodos de tierra.
  6. Requisitos para los contadores de impactos de rayos (CIR).
  7. Requisitos para los compuestos que mejoran las puestas a tierra.
- IEC 62305-2. Normativa internacional de protección contra el rayo. Gestión de riesgos.

### b. Datos del proyecto

#### Datos del usuario

**Nombre:** Roxana

**Apellidos:** Aguilera

**Empresa:**

**País:** Ecuador

**Teléfono:**

**Correo electrónico:** roxana.aguilera@holcim.com

#### Datos del cliente

**Empresa:** Universidad Politécnica Salesiana

**Persona de contacto:** Roxana Aguilera Henry Muñoz

**Correo de contacto:**

**Teléfono:**

#### Datos del proyecto

**Nombre:** Caso de estudio TANQUES GLP

**Ubicación:** Guayaquil

**Datos normativos**

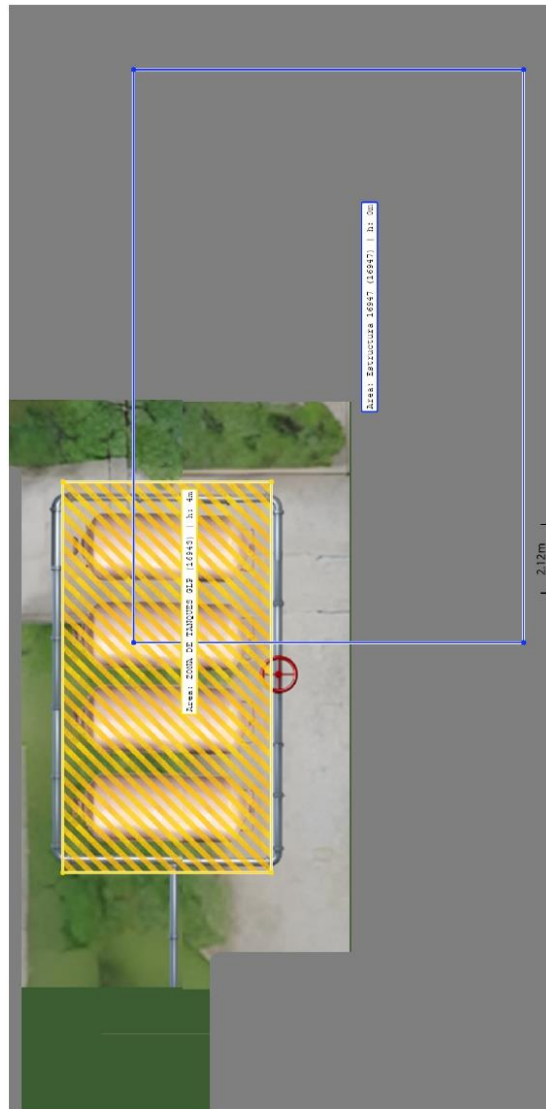
**Normativa de referencia:** CTE-DB-SUA8:2010

**Tipo de conductor bajante:** Cable 70mm<sup>2</sup>

**Margen de seguridad adicional en accesorios:** 0 %

### 3. Diseño de la instalación

#### a. Esquema general de la instalación



- Perímetro del área (terreno) a proteger
- Estructuras a proteger con una determinada altura
- Estructuras a proteger en las cuales no se puede colocar un pararrayos (zonas prohibidas)



## b. Identificación de zonas y estructuras

<b>ID de la zona/estructura</b>	16943
<b>Nombre</b>	ZONA DE TANQUES GLP
<b>Dimensiones</b>	9 x 16
<b>Altura / Altura total</b>	4 / 4 m
<b>Nivel de protección</b>	2
<b>¿Nivel de protección calculado?</b>	No
<b>¿Zona prohibida?</b>	Sí
<b>Material de la estructura</b>	No aplica
<b>Material de la cubierta</b>	No aplica

<b>ID de la zona/estructura</b>	16947
<b>Nombre</b>	Estructura 16947
<b>Dimensiones</b>	16 x 23
<b>Altura / Altura total</b>	0 / 4 m
<b>Nivel de protección</b>	2
<b>¿Nivel de protección calculado?</b>	No
<b>¿Zona prohibida?</b>	No
<b>Material de la estructura</b>	No aplica
<b>Material de la cubierta</b>	No aplica

### c. Determinación del riesgo y nivel de protección

Solamente las estructuras con una altura determinada son susceptibles de que se le aplique un cálculo de riesgo de rayo.

De todos los niveles de riesgo introducidos/calculados, el nivel más alto (restrictivo) es el que finalmente se utiliza globalmente para todo el perímetro de la instalación

Los siguiente cálculos de riesgo se han realizado conforme a la normativa CTE-DB-SUA8:2010.

**Resultado global:** No se ha realizado ningún cálculo de riesgo. El valor ha sido asignado manualmente siendo el más alto el nivel 2. Se toma como referencia para todo el proyecto.

## 4. Solución propuesta

### a. Esquema general de la instalación



⊕ Puesta a tierra de un pararrayos

⚡ Pararrayos

— Línea equipotencial

**b. Identificación de los pararrayos**

<b>ID del pararrayos</b>	37419
<b>Modelo de pararrayos</b>	Nimbus 15
<b>Nombre</b>	Nimbus 15
<b>Instalado sobre</b>	16947
<b>Elemento de instalación</b>	Poste (terreno)
<b>Altura respecto estructura</b>	8
<b>Radio de protección</b>	40
<b>Número de puestas a tierra</b>	1
<b>Asignado manual / calculado</b>	Manual

**c. Identificación de elementos de puesta a tierra**

<b>ID del puesta a tierra</b>	520112
<b>Tipo de puesta a tierra</b>	Triangular
<b>Instalado sobre estructura</b>	16947
<b>Instalado en pararrayos</b>	37419

d. Lista de materiales global para instalación de pararrayos

Cód. Acc.	Referencia	Cant.	Imagen
77901115	<b>Nimbus 15</b> Pararrayos con dispositivo de cebado. Acero inoxidable AISI 316. Avance de cebado: 15 us. CTE SU8; UNE 21.186:2011; NFC 17-102:2011.	1	
77902610	<b>Adaptación Nimbus cable mástil 3/6m</b> Pieza de adaptación Nimbus a mástil, diámetro 36,5 mm.	1	
77906040	<b>Poste autoportado, 8m</b> Poste autoportado con fijación por pernos (8m)	1	
77908200	<b>Cable 70mm<sup>2</sup></b> Cable trenzado de cobre electrolítico desnudo de 70 mm <sup>2</sup> .	30	
77912000	<b>Manguito seccionador de latón para cable</b> Manguito de unión cable 8-10mm	1	
77920130	<b>Contador de descargas de rayo</b> Contador de descargas de rayo para cable y pletina	1	
77930000	<b>Placa de señalización de puesta a tierra</b> Placa de señalización de toma de tierra	1	

Continúa en la siguiente página

**Cuadro 2 Continua en la página previa**

Cód. Acc.	Referencia	Cant.	Imagen
77930110	<b>Arqueta completa PVC 300x300mm</b> Arqueta registro polipropileno de 300x300 mm. con regleta equipotencial incluida y 3 terminales brida.	1	
77934200	<b>Grapa unión cable - pica de puesta a tierra</b> Grapa abarcón latón conexión jabalina hasta 18mm diámetro. Cable 8-10mm	3	
77932100	<b>Pica de puesta a tierra Cu 2m</b> Jabalina de cobre 300 micras 2 m, diámetro 14 mm.	3	
77938310	<b>Cemento conductor para puesta a tierra</b> Saco aditivo mejora de tierra 11,36Kg	1	
77920310	<b>Spark gap de equipotencialización de tierras</b> Vía chispas equipotencializador de tierras independientes.	1	

#### e. Lista de material por cada pararrayos

- Lista de accesorios del pararrayos PARARRAYO 1  
Código de pararrayos: 37419  
Código de puesta a tierra: Code 000, code 001

Cód. accesorio	Referencia	Cantidad
77901115	Nimbus 15	1
77902610	Adaptación Nimbus cable mástil 3/6m	1
77906040	Poste autosoportado, 8m	1
77908200	Cable 70mm <sup>2</sup>	30
77912000	Manguito seccionador de latón para cable	1
77920130	Contador de descargas de rayo	1
77930000	Placa de señalización de puesta a tierra	1
77930110	Arqueta completa PVC 300x300mm	1
77934200	Grapa unión cable - pica de puesta a tierra	3
77932100	Pica de puesta a tierra Cu 2m	3
77938310	Cemento conductor para puesta a tierra	1
77920310	Spark gap de equipotencialización de tierras	1



#### f. Funcionamiento del cálculo de optimización de pararrayos

La solución propuesta en los apartados anteriores está basada en un cálculo de optimización de pararrayos realizado por el propio software nimbus® project designer.

Dicho cálculo determina el número y modelo de pararrayos (según su radio de cobertura) necesario para proteger completamente las diferentes áreas y estructuras del proyecto. El criterio principal es el número de pararrayos, junto con criterios de optimización económica (coste de la instalación del sistema completo de protección contra el rayo (SPCR) desde pararrayos hasta puestas a tierra) y de facilidad de instalación.

El resultado del cálculo es un compromiso entre precisión, tiempo de cálculo, coste económico y complejidad del proyecto; esta aproximación es el resultado de la resolución del cálculo en un tiempo razonable.

El optimizador nimbus® trabaja con cualquier tipo de instalación (tanto por extensión como por complejidad de estructuras).

Otras consideraciones:

- La solución del optimizador puede ser sensible al trazado exacto de las líneas que representan las áreas (estructura o perímetros) y la escala del plano.

- Para completar la resolución de un proyecto es necesario que todas las áreas a proteger queden cubiertas por los radios de los pararrayos. En algunos casos por limitaciones gráficas el optimizador nimbus® puede proponer una solución que deje pequeñas áreas desprotegidas, por lo que deberá ajustarse manualmente. (En ningún caso se puede generar un informe del proyecto si queda alguna área desprotegida).

Cirprotec se reserva el derecho a introducir mejoras en el algoritmo sin previo aviso, lo que podría eventualmente hacer variar ligeramente la solución con respecto a informes del mismo proyecto emitidos con anterioridad.

**cirprotec**

## **Anexos de Proyecto**

Caso de estudio TANQUES GLP  
Guayaquil  
CTE-DB-SUA8:2010  
Universidad Politécnica Salesiana  
2024-01-22 13:42:53

<https://nimbus.cirprotec.com>

# Índice

---

---

> FICHAS TÉCNICAS

a. Recopilación de fichas técnicas..... 2

# 1. Fichas técnicas

---

## Listado de fichas técnicas

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-NIMBUS-15-77901115.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-P-ADAP-D36,5-77902610.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-POSTE-FIJ-ESPAR-8M-77906040.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-CABLE-TRZ-CU-70-77908200.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-MANGUITO-U-C-70-77912000.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-CDR-401-77920130.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-PLACA-SEÑAL-DE-PUESTA-A-TIERRA-77930000.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-ARQUETA-COMPLETA-300X300-77930110.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-GRAPA-AB-LA-JAB-77934200.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-JAB-CU-2-D14-77932100.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-SACO-11,36KG-ADITIVO-MEJORA-TIERRA-77938310.pdf](#)

[ES-CPT-FT-PARARRAYOS-EQUIPOT-TIERRA-77920310.pdf](#)

## nimbus 15

77901115



Pararrayos con dispositivo de cebado. Acero inoxidable AISI 316. Avance de cebado: 15 us. CTE SU8; UNE 21.186:2011; NFC 17-102:2011.



Indicative product image

Datos técnicos		Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>			
Código		77901115	
Descripción		nimbus 15	
Estado		Disponible	
<b>Dimensiones</b>			
Altura producto		378,5	[mm]
Anchura producto		85	[mm]
Peso producto		2875	[gr]
<b>Datos generales</b>			
Normas Producto		NF C 17-102:2011; UNE-21186:2011; CTE SU 8	
Certificaciones		CE; BUREAU VERITAS	
Color carcasa		Plateado	
Material aislante y clase		Inox 316	
Grado de protección del envolvente		IP 67	
Rango temperatura		-20 °C ... +80 °C	
<b>Características técnicas</b>			
Avance de cebado		15	[ μs]
Máxima corriente soportada (10/350)	limp	200	[kA]
Sección mínima del cable		50	[mm <sup>2</sup> ]
Ancho máximo pletina	Ancho máx.pletina	30	[mm]
Ancho mínimo pletina	Ancho mín.pletina	25	[mm]
Espesor máximo pletina		6	[mm]

Datos técnicos		Valor	Unidades
Espesor mínimo pletina		2	[mm]
<b>Radios de protección según modelo de pararrayos (UNE 21186 / NFC 17-102)</b>			
Nivel I (h=3m)	D = 20 m	19	[m]
Nivel I (h=4m)	D = 20 m	25	[m]
Nivel I (h=5m)	D = 20 m	32	[m]
Nivel II (h=3m)	D = 30 m	22	[m]
Nivel II (h=4m)	D = 30 m	30	[m]
Nivel II (h=5m)	D = 30 m	37	[m]
Nivel III (h=3m)	D = 45 m	27	[m]
Nivel III (h=4m)	D = 45 m	36	[m]
Nivel III (h=5m)	D = 45 m	45	[m]
Nivel IV (h=3m)	D = 60 m	31	[m]
Nivel IV (h=4m)	D = 60 m	41	[m]
Nivel IV (h=5m)	D = 60 m	51	[m]
<b>Accesorios</b>			
Accesorios 3	77902610		
<b>Esquemas</b>			

## Dimensiones



## P-ADAP D36,5

77902610



Pieza de adaptación Nimbus a mástil, diámetro 36,5 mm.

Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77902610	
Descripción	P-ADAP D36,5	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	86,5	[mm]
Anchura producto	50	[mm]
Profundidad producto	50	[mm]
Peso producto	773	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-1:2012	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro	50	[mm]
Diámetro interno	36,5	[mm]
Diámetro de mástil máximo	36,5	[mm]
Diámetro de mástil mínimo	36,5	[mm]
Diámetro máximo del cable	10	[mm]
Diámetro mínimo del cable	8	[mm]
Material	Latón	
Tipo de rosca	M30	

# POSTE FIJ-ESPAR 8M

77906040



Poste autoportado con fijación por pernos (8m)



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77906040	
Descripción	POSTE FIJ-ESPAR 8M	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	8000	[mm]
Anchura producto	500	[mm]
Profundidad producto	500	[mm]
Unidad de embalaje	1	
Nº piezas	1 tramo	
<b>Datos generales</b>		
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro de mástil máximo	172	[mm]
Diámetro de mástil mínimo	76	[mm]
Material	Acero galvanizado	
Tipo de rosca	M22	



## CABLE-TRZ Cu 70

77908200



Cable trenzado de cobre electrolítico desnudo de 70 mm<sup>2</sup>.



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77908200	
Descripción	CABLE-TRZ Cu 70	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Peso producto	593	[gr]
Unidad de embalaje	50	[m]
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-2:2012	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Sección	70	[mm <sup>2</sup> ]
Diámetro	10	[mm]
Material	Cobre	

## MANGUITO-U C-70

77912000

### Manguito de unión cable 8-10mm



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77912000	
Descripción	MANGUITO-U C-70	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	70	[mm]
Anchura producto	23	[mm]
Profundidad producto	23	[mm]
Peso producto	215	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-1:2011	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro	24	[mm]
Diámetro interno	12	[mm]
Diámetro máximo del cable	10	[mm]
Diámetro mínimo del cable	8	[mm]
Material	Latón	

## CDR-401

77920130

### Contador de descargas de rayo para cable y pletina



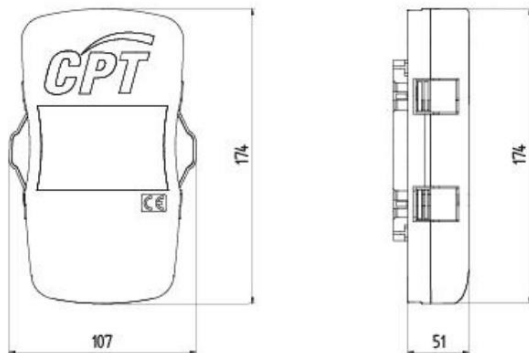
Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77920130	
Descripción	CDR-401	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	174	[mm]
Anchura producto	107	[mm]
Profundidad producto	51	[mm]
Peso producto	385	[gr]
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-6:2011	
Certificaciones	CE	
Color carcasa	RAL 9005	
Material aislante y clase	PA66; V-0 + UV	
Grado de protección del envoltorio	IP 67	
Rango temperatura	-20 °C ... +65 °C	
<b>Características técnicas</b>		
Umbral de corriente (8/20)	Itc	1 [kA]
Máxima corriente de descarga contada y soportada (10/350)	Imcw	150 [kA]
Rango de contaje		0 ... 9999
Sistema bajante		Cable, pletina
Ancho máximo pletina		30 [mm]
Ancho mínimo pletina		25 [mm]

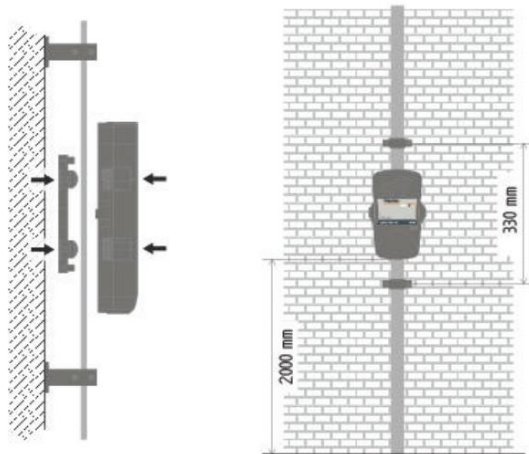
Datos técnicos	Valor	Unidades
Espesor máximo pletina	6	[mm]
Espesor mínimo pletina	2	[mm]
Diámetro máximo del cable	10	[mm]
Diámetro mínimo del cable	6	[mm]

## Esquemas

### Dimensiones



### Esquema de conexión



# PLACA SEÑAL DE PUESTA A TIERRA

77930000



Placa de señalización de toma de tierra



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77930000	
Descripción	PLACA SEÑAL DE PUESTA A TIERRA	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	150	[mm]
Anchura producto	60	[mm]
Profundidad producto	2	[mm]
Peso producto	50	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-5:2011	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Material	Aluminio	

## ARQUETA COMPLETA 300X300

77930110



Arqueta registro polipropileno de 300x300 mm. con regleta equipotencial incluida y 3 terminales brida.

Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77930110	
Descripción	ARQUETA COMPLETA 300X300	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	300	[mm]
Anchura producto	300	[mm]
Profundidad producto	300	[mm]
Peso producto	2385	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-5:2011	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro máximo del cable	10	[mm]
Diámetro mínimo del cable	8	[mm]
Material conector	Cobre	
Material envolvente	Polipropileno	

## GRAPA-AB La /JAB

77934200



Grapa abarcón latón conexión jabalina hasta 18mm diámetro. Cable 8-10mm



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77934200	
Descripción	GRAPA-AB La /JAB	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	50	[mm]
Anchura producto	41	[mm]
Profundidad producto	26	[mm]
Peso producto	130	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-2:2012	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro de pica admisible	18	[mm]
Nº conductores bajantes	1	
Diámetro máximo del cable	10	[mm]
Diámetro mínimo del cable	8	[mm]
Material	Latón	
Rosca de tornillo	M8	

## JAB Cu 2 D14

77932100

Jabalina de cobre 300 micras 2 m, diámetro 14 mm.



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77932100	
Descripción	JAB Cu 2 D14	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	14	[mm]
Anchura producto	14	[mm]
Longitud producto	2000	[mm]
Peso producto	2670	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-2:2012	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Diámetro	14	[mm]
Diámetro	5/8	[inch]
Diámetro interno	14	[mm]
Material	Acero inoxidable	
Material envolvente	Cobre	
Revestimiento de cobre	300	[µm]



# SACO 11,36KG ADITIVO MEJORA TIERRA

77938310



Saco aditivo mejora de tierra 11,36Kg



Indicative product image

Datos técnicos	Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>		
Código	77938310	
Descripción	SACO 11,36KG ADITIVO MEJORA TIERRA	
Estado	Disponible	
<b>Dimensiones</b>		
Altura producto	500	[mm]
Anchura producto	300	[mm]
Profundidad producto	80	[mm]
Peso producto	11360	[gr]
Unidad de embalaje	1	
<b>Datos generales</b>		
Normas Producto	EN 62561-7:2012	
Certificaciones	CE	
<b>Características técnicas</b>		
Material	Bentonita	

# EQUIPOT TIERRA

77920310



Vía chispas equipotencializador de tierras independientes.



Indicative product image

Datos técnicos		Valor	Unidades
<b>Datos mercantiles</b>			
Código		77920310	
Descripción		EQUIPOT TIERRA	
Estado		Disponible	
<b>Dimensiones</b>			
Altura producto		146	[mm]
Peso producto		391	[gr]
Unidad de embalaje		1	
<b>Datos generales</b>			
Normas Producto		EN 62561-3:2012	
Certificaciones		CE	
<b>Características técnicas</b>			
Corriente de impulso tipo rayo (10/350)	Iimp	100	[kA]
Tensión de respuesta	Uaw	2,5	[kV]
Nivel de protección en tensión	Up	5	[kV]
Diámetro		55	[mm]
Diámetro del conector		8	[mm]
Material conector		Acero inoxidable	
Material envolvente		Plástico	
Aplicación		Protección equipotencial	