

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRESENTA:

BORRALLES ARGÜELLO DARWIN

NOMBRE DEL PROYECTO:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PUESTA A
TIERRA DE LA GASOLINERA RODEL S.A DE C.V”**

PERIODO DE REALIZACIÓN:

AGOSTO-DICIEMBRE 2018



Índice

1. Introducción.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Descripción de la empresa y de la aérea de trabajo del estudiante.....	5
1.3 Problema a Resolver.....	6
1.4 Estado del arte.....	7
1.5 Justificación.....	8
1.6 Objetivos.....	8
1.6.1 General.....	8
1.6.2 Específicos.....	8
1.7 Metodología.....	9
2. Fundamento Teórico.....	9
2.1 Principio y Fundamento de un Sistema de Puesta a Tierra.....	9
2.2 Sistema de Puesta a Tierra (SPT) del Tanque.....	9
2.3 Protección contra Descargas Electrostáticas y Descargas Atmosféricas para Tanques de Almacenamiento.....	10
2.3.1 Generalidades de un Sistema de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas de un Tanque de Almacenamiento.....	11
2.3.2 Especificaciones del Sistema de Puesta a Tierra y Sistema Integral contra Descargas Atmosféricas de un Tanque de Almacenamiento.....	11
2.4 Zonas de Protección contra Descargas Atmosféricas en los Tanques de Almacenamiento.....	14
2.5 Medidas de Seguridad para Tanques de Almacenamiento.....	15
2.6 Fabricación de Tanques para Gasolina.....	16
2.7 Características de los Tanques de Almacenamiento para Combustible.....	16
2.8 Tanques para Gasolina Fijos.....	16
2.9 Normas de Seguridad en Tanques de Almacenamiento.....	17
2.10 Tormentas Eléctricas e Inventariado en Tanques de Almacenamiento.....	17
2.11 Técnicas para minimizar los daños producidos por Rayos y Corrientes Transitorias en los Tanques de Almacenamiento.....	18



2.11.1 Circuito Supresor.....	18
2.11.2 Circuito Derivador.....	18
2.11.3 Conexión a Tierra y Apantallado.....	18
2.11.4 Experiencia en Campo.....	19
2.12 Efectos de la Corriente del Rayo sobre los Tanques de Almacenamiento.....	20
3. Desarrollo.....	25
4. Conclusiones.....	48
4.1 Conclusiones.....	48
4.2 Soluciones propuestas.....	49
4.3 Competencias desarrolladas y/o aplicadas.....	49
5. Referencias.....	50
ANEXO A.....	51
ANEXO B.....	52
ANEXO C.....	53

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Durante los últimos años, las explosiones e incendios en tanques de almacenamiento han ocasionado daños y perjuicios enormes, tanto desde el punto de vista ambiental como económico, causando pérdidas humanas y financieras, y generando altos niveles de contaminación en el medio ambiente.

Según una revista de incendios en tanques de petróleo entre los años 1951 y 2003, el número de incendios reportado en las noticias alrededor del mundo era de 15 a 20 incendios por año. Los incidentes de los fuegos de tanque variaron mucho, desde un fuego de sello a múltiples fuegos simultáneos de todo el tanque. De los 480 fuegos reportados en la media, aproximadamente una tercera parte de estos eran debido al relámpago.

Otro estudio, conducido por 16 compañías de petróleo, descubrió que 53 de 55 fuegos de sello eran causados por el relámpago, y concluyó que “el relámpago es el recurso más común de ignición.”.

Chang y Lin (2006) estudiaron y analizaron las causas de 242 accidentes de tanques de almacenamiento en instalaciones industriales. Según Chang y Lin, la mayoría de los accidentes estudiados pudieron evitarse si se hubiesen aplicado los principios ingenieriles adecuados.

Las causas identificadas de los accidentes son: caída de rayos durante tormentas eléctricas, errores en las labores de mantenimiento, errores operacionales, falla en los equipos mecánicos, sabotaje, rotura o fisura de elementos estructurales, fugas de combustible, problemas en el sistema eléctrico, acción de desastres naturales, y otros, de las cuales los errores humanos provocaron el 30% de las eventualidades, aproximadamente.

Un 85% de los accidentes involucran explosiones e incendios, la mayoría ocurridos en terminales o granjas de almacenamiento de productos y en más de 50% de los casos el contenido de los tanques era crudo y productos derivados del petróleo.

Asimismo, una revisión de 480 accidentes que involucran fuego en tanques de almacenamiento ocurridos entre 1950 y 2003 (Persson y Lönnemark, 2004) muestra que la cantidad de accidentes crece entre un 20% y un 80% en cada década, reportándose en promedio 16 accidentes anuales en la década de 1990. En muchos de los casos las pérdidas económicas oscilan en cientos de millones de dólares.



1.2 Descripción de la empresa y del área de trabajo del estudiante

La empresa Grupo Larusu de Chiapas S.A de C.V. se dedica a la consultoría y capacitación que abarca principalmente lo relativo a atender y solventar inspecciones de la Secretaria de Trabajo y Prevención Social en materia de Seguridad e Higiene Industrial, Protección Civil, Medio Ambiente e Instalaciones Eléctricas, siempre apeándose a los correspondientes Marcos Legales vigentes en el territorio estatal y nacional.

El área de trabajo del estudiante abarcara desde la oficina general realizando Dictámenes de Elementos Estructurales para evitar Riesgos de Trabajo, Dictámenes de Instalaciones Eléctricas para evitar Riesgos de Trabajo, Elaboración de Diagramas Unifilares, Elaboración y Actualización de planos de Instalaciones Eléctricas con Memoria de Cálculo. Y en el área de campo realizando Mediciones de la Red de puesta a Tierra, Mediciones de los niveles de Iluminación, Mediciones de los niveles de Ruido en los Centros de Trabajo y Diagnósticos Integrales o por Área de Trabajo de las condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo.



1.3 Problema a Resolver

La Gasolinera Rodel S.A de C.V llevará a cabo un Estudio de Factibilidad que servirá para recopilar datos relevantes sobre el establecimiento de un Sistema de Tierra, que incluye el Estudio de Resistividad de Suelos, el Estudio de Resistencia de Puesta a Tierra, la Inspección de Conexiones a Tierra de toda la instalación asociada al tanque de combustible, la Inspección de Sistema de Protección contra descargas Atmosféricas contra descargas directas y la Inspección de Sistema de Protección contra efectos Secundarios de las Descargas Indirectas.

1.4 Estado del arte

Durante el primer trimestre de 2008, obedeciendo los lineamientos establecido por el conocido para entonces como Ministerio del Poder Popular para Energía y Petróleo las empresas eléctricas, para la fiscalización de combustible, instala un sistema de fiscalización con tecnología de radar. [1]

Finalizando el segundo trimestre, ocurre una descarga atmosférica en las inmediaciones de una planta inhabilitando de forma permanente el recién instalado sistema de medición. Se presume que fallas en el sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas atentaron contra la vida útil de equipo recién instalado. [1]

El trabajo realizado consistió en un diagnóstico del entorno electromagnético de forma de determinar las posibles hipótesis donde se definan los caminos mediante los cuales se pudo trasladar la energía electrostática proveniente de una descarga atmosférica hasta la tarjeta electrónica del instrumento medidor de nivel del tipo radar instalado en un tanque de gasoil.[1]

Además de concluir cual fue en definitiva el evento electromagnético y por último ofrecer recomendaciones para crear un entorno electromagnético adecuado a la naturaleza de la instalación y con el objetivo de ganar inmunidad a las descargas atmosféricas posibles en la zona. [1]

Según la IEC un Sistema Integral contra Descargas Atmosféricas cumple con dos clases: la Protección Externa (PCDAE); que tiene la finalidad de proteger la estructura contra golpes directos, y la Protección Interna (PCDAI); que evita los efectos secundarios de golpes indirectos que causan voltajes inducidos en sistemas eléctricos y electrónicos.[2]

La API 545 relaciona tres posibles eventos que pueden ocurrir para los tanques de techo flotante; impacto directo sobre la pared del tanque, impacto directo en el techo del tanque, impacto en una estructura cerca del tanque. Para tanques de techo fijo se tiene el impacto directo en el techo y el impacto cercano al tanque. [3]

1.5 Justificación

Existen diversas situaciones en que disponer de una conexión a tierra es conveniente para un sistema eléctrico, ya sea para su adecuado funcionamiento por ejemplo, dar una referencia firme a todos los potenciales del sistema, o para tener una interacción no dañina con sistemas vecinos, uno de los cuales puede ser el hombre, que se sirve del sistema o trabaja para él.

El estudio de factibilidad para la puesta a tierra de la Gasolinera Rodel S.A de C.V, es necesario porque en la actualidad no cumple con la normatividad vigente, esto generaría futuros inconvenientes, tanto para los equipos como para las personas que diariamente frecuentan la gasolinera.

Este documento explicará la manera correcta de calcular el sistema de puesta a tierra en una gasolinera, donde se llevará a cabo los correctivos necesarios para mejorar el sistema de puesta a tierra existente y para la implementación de futuras correcciones, que cumplan con los estándares de calidad normalizados.

Es fundamental la existencia de una puesta a tierra de características adecuadas y normalizadas, la cual garantice a las instalaciones de la Gasolinera Rodel S.A de C.V y a las personas que interactúan en ella una seguridad apropiada, la cual le proporciona una vida útil prolongada a los equipos y un buen funcionamiento.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Realizar el estudio de factibilidad necesario para la puesta a tierra de la Gasolinera Rodel S.A de C.V con el fin de cumplir con las Normas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la instalación de la Gasolinera Rodel S.A de C.V para obtener los parámetros necesarios.
- Describir la metodología de pruebas a realizar en la instalación.
- Tomar los datos de campo necesarios para llevar a cabo el estudio.
- Realizar los cálculos correspondientes con ayuda de los datos de campo.
- Analizar e interpretar los resultados.

1.7 Metodología

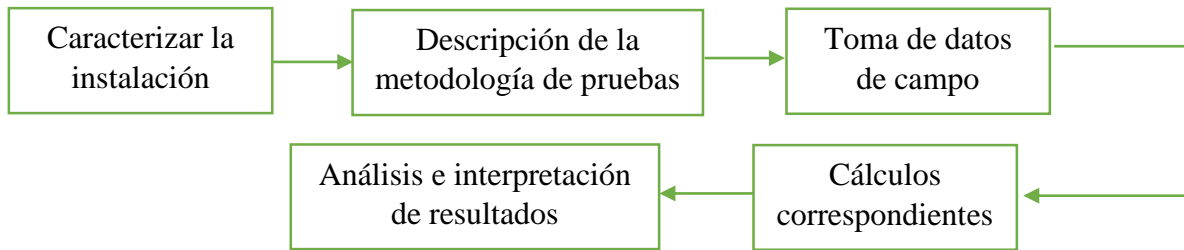


Fig. 1.1 Diagrama a bloques del proceso.

2. Fundamento Teórico

2.1 Principio y Fundamento de un Sistema de Puesta a Tierra

Por puesta a tierra se entiende como la conexión de un conductor eléctrico (electrodo) enterrado en el suelo con la finalidad de dispersar corrientes eléctricas y captar el potencial de referencia cero.

Las puestas a tierra, se fabricaban en las plantas industriales, para la protección de las personas y de las maquinarias. Estas puestas a tierra se fabricaban artesanalmente con un tubo galvanizado, sal y carbón vegetal.

Estas puestas a tierra se mantenían húmedos y solo servirían ante una eventual descarga del equipo eléctrico por bajo nivel de aislamiento.

Ante la evolución de la Electrónica con los microprocesadores, computadoras, variadores, PLC, es mucho más necesario que los componentes electrónicos en las tarjetas estén conectadas a tierra y así puedan descargar permanentemente corrientes residuales a una puesta a tierra de baja resistencia, es por eso que se hace imprescindible que las puestas a tierra sean de una buena calidad, es decir de 3 a 5 ohmios de resistencia máxima o lo que especifique el fabricante del equipo.

Para obtener una resistencia mínima en una puesta a tierra, influye mucho, la naturaleza del terreno, el tipo de electrodo, las soluciones electrolíticas y otros componentes como: el calibre del cable de conexión desde la puesta a tierra hasta el tablero de distribución eléctrica, los conectores, etc.

2.2 Sistema de Puesta a Tierra (SPT) del Tanque

El SPT de un tanque tiene el propósito de minimizar las diferencias de potencial entre el tanque y la tierra, asimismo, las uniones equipotenciales son llevadas a cabo para eliminar las diferencias de potencial entre los objetos conductivos, estos mismos propósitos son los que hacen posible la disipación de las acumulaciones de las cargas electrostáticas a tierra evitando chispas de ignición que son capaces de encender un mezcla inflamable.

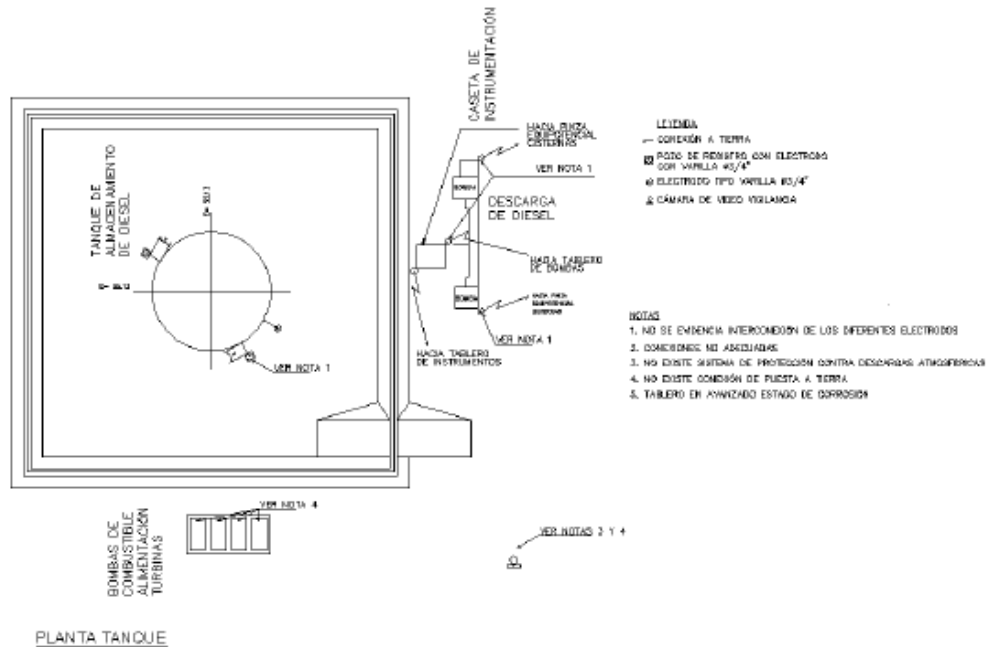


Fig. 2.1 Tanque de almacenamiento de Diesel.

El SPT se constituye de tres componentes:

- Electrodo de tierra empotrados en concreto, para bajar la resistencia del SPT.
- Conductores desnudos o aislados para ser enterrados en terrenos de baja o alta corrosión respectivamente.
- Uniones equipotenciales, entre los objetos metálicos que son cargados críticamente, en el tanque y cerca del tanque.

2.3 Protección contra Descargas Electroestáticas y Descargas Atmosféricas para Tanques de Almacenamiento

El SPT está en combinación con la PCDA ya que juntos forman un Sistema Integral de Protección para el Tanque (SIPT) contra descargas electroestáticas y descargas atmosféricas.

La figura 2.2 muestra un esquema general de un PCDA y SPT para un tanque de combustible.

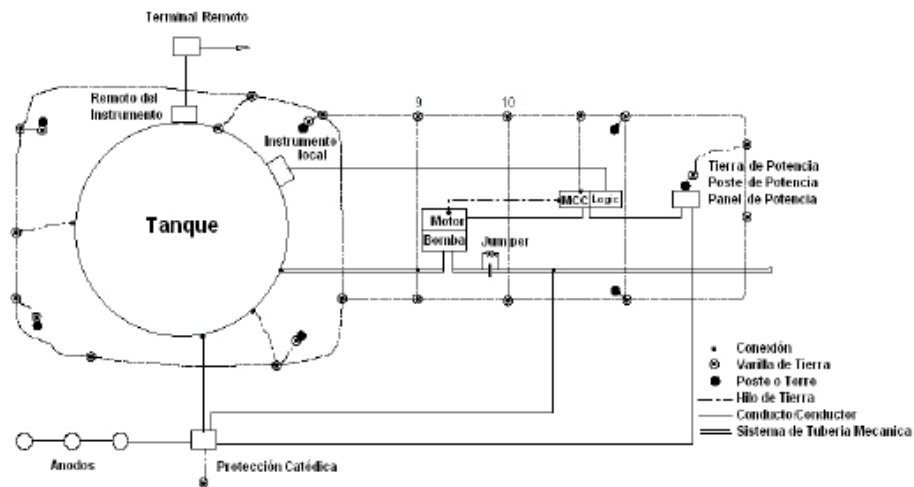


Fig. 2.2 SPT y PCDA en el área de un tanque.

2.3.1 Generalidades de un Sistema de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas de un Tanque de Almacenamiento

Cuando tiene lugar una descarga atmosférica los efectos electromagnéticos vienen dados por dos vías en forma general: una de forma directa gracias al impacto de la descarga a lo que se conocerá Descarga Directa y otra indirecta gracias a fenómenos secundarios debido a conducción de energía eléctrica en la descarga, es decir, transitorios inducidos y radiados a lo que se conocerá como Efectos Secundarios.

Todo sistema eficaz que proteja una instalación contra descargas atmosféricas debe considerar ambos fenómenos, un sistema con esas características se conoce como Sistema Integral contra Descargas Atmosféricas (PCDA); el cual toma en cuenta todas las vinculaciones necesarias para evitar los efectos de Descargas Atmosféricas Directas e Indirectas.

Un PCDA es un método completo no totalmente seguro pero, si muy eficiente para protección de tanques con riesgos de daños por los efectos de las descargas atmosféricas.

2.3.2 Especificaciones del Sistema de Puesta a Tierra y Sistema Integral contra Descargas Atmosféricas de un Tanque de Almacenamiento

La conexión del tanque al SPT, se realiza por medio de un cilindro de hierro ($\frac{1}{2}'' \times 2''$) situada de 20 a 30 cm de la base y soldada a la estructura, donde se instalará el conductor de puesta a tierra por medio de un terminal (cobre 2/0 AWG).

Se prefiere que el tanque este unido al SPT en un intervalo de dos a cuatro conexiones. Esta conexión al tanque debe asegurarse que este bien sujeta y que tenga buena continuidad eléctrica con el conductor.

El tamaño mínimo del conductor de puesta a tierra depende de la capacidad mecánica más que por su capacidad portadora de corriente, debe ser flexible si serán conectados y desconectados frecuentemente, un valor típico para este caso es un conductor 2/0 AWG.

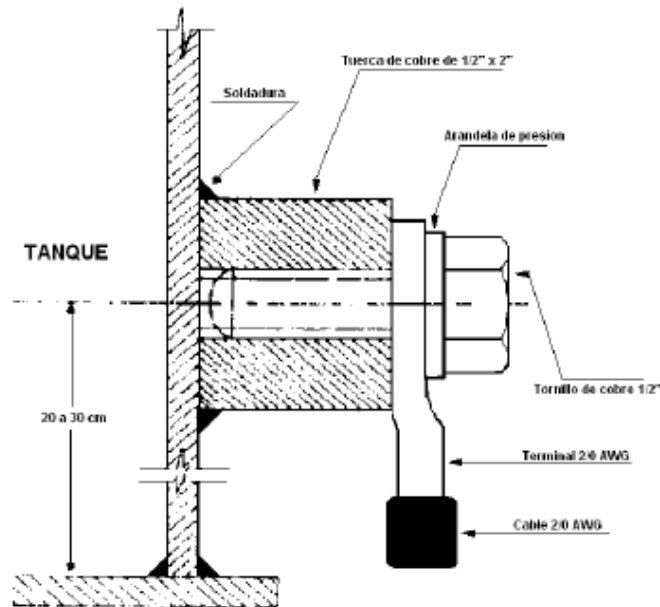


Fig. 2.3 Conexión al tanque.

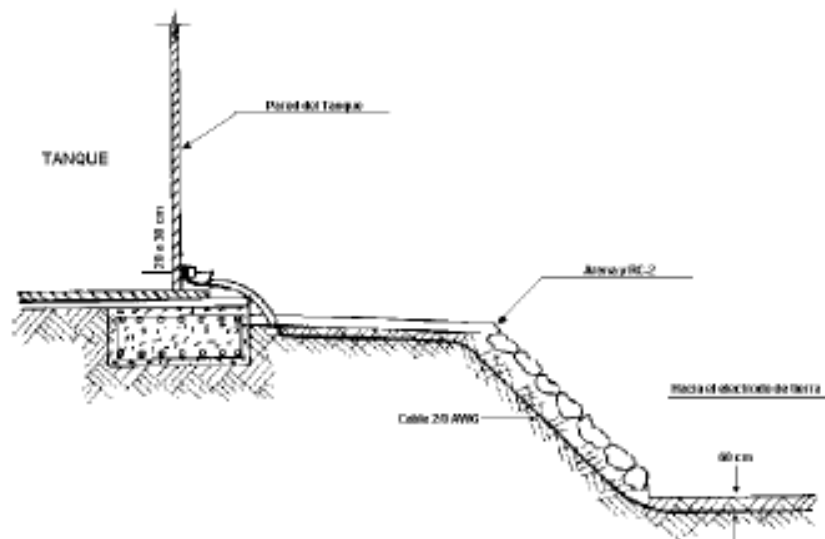


Fig. 2.4 Detalle del conductor del SPT.

El conductor entre el punto a la vista y el electrodo de puesta a tierra, será continuo sin empalme. La profundidad mínima de la instalación deberá ser de 50 cm a 60 cm, ya que son zonas donde son asistidas por vehículos de servicio pesado, que podrían causar daño al conductor. Desde la base del tanque al electrodo de tierra, el conductor debe tener una distancia de 3 m.

La construcción de electrodos de tierra con varillas empotradas en concreto es el método más apropiado y también muy simple.

Las figuras 2.3 y 2.4 muestran detalles de conexión al tanque y detalle de tendido de conductor respectivamente.

Abrir hoyos de 12" de diámetro como mínimo por 10' de largo como máximo y rellenarlos de concreto, luego se coloca la varilla en el centro de cada hoyo de concreto. Cada electrodo estará vinculado a un pozo de inspección en el cual se harán pruebas de resistencia del SPT para comprobar su continuidad y condición eléctrica, tal como se puede apreciar en la figura 2.5

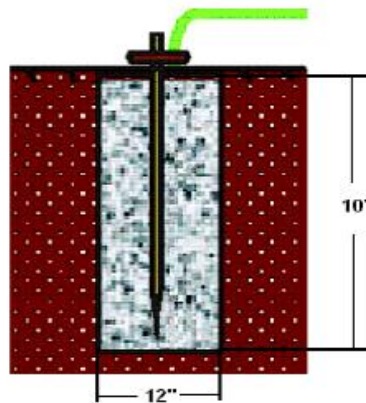


Fig. 2.5 Varilla empotrada en concreto.

NFPA 780, establece como mínimo que los tanques estén provisto de dos electrodos y que haya separación entre ellas de 30 m alrededor del perímetro del tanque.

Tomando en cuenta la separación de 3 m que existe de la conexión del tanque al electrodo de tierra y la recomendación anterior se obtiene la siguiente formula, que muestra el número aproximado de electrodos a colocar que depende del perímetro del tanque:

$$N^{\circ} \text{ de Electrodos} = \left\{ \frac{\pi * (D_{Tanque} + 6m)}{30m} \right\}$$

De esta manera conociendo el número de electrodos y separándolas cada 30 m entre ellas alrededor del perímetro dado, se puede notar que este sistema rodea al tanque, y al conectarse las varillas entre sí por medio de conductores se formará un anillo alrededor de este como se puede apreciar en la Figura 2.6

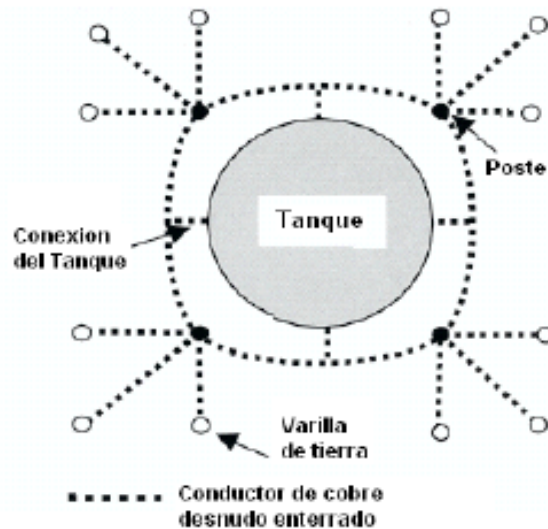


Fig. 2.6 Sistema de anillo de tierra para tanques de almacenamiento.

2.4 Zonas de Protección contra Descargas Atmosféricas en los Tanques de Almacenamiento

Según la IEC 62305-1, define cuatro zonas principales:

ZPR 0A: Zona donde los elementos están sujetos a descargas directas. Deben conducir toda la corriente de la descarga y no existe atenuación alguna del campo electromagnético.

ZPR 0B: Zona donde los elementos no están sujetos a impactos directos de la descarga, pero no existe atenuación alguna del campo electromagnético.

ZPR 1: Zona donde los elementos no están sujetos a impactos directos de la descarga. Las corrientes de la descarga deben ser reducidas en comparación con la ZPR 0B y el campo electromagnético debe estar bastante atenuado por los apantallamientos.

ZPR 2, ...n: Zonas adicionales, si la complejidad de la estructura y de las instalaciones exigen mayor reducción de la corriente del rayo.

La figura 2.7 muestra las zonas de protección según la clasificación de áreas en las cercanías del tanque.

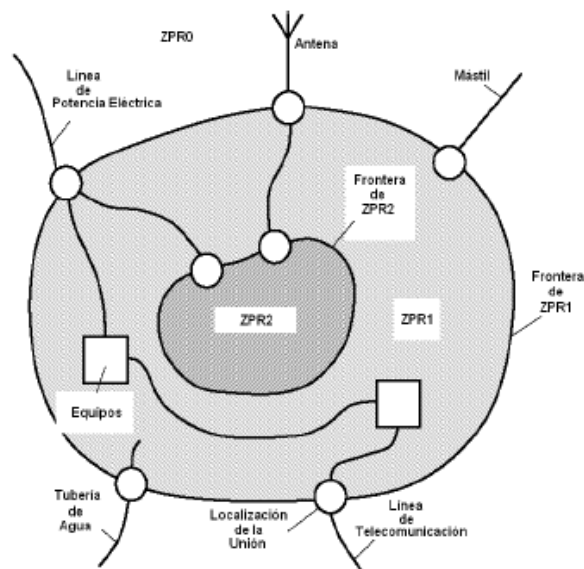


Fig. 2.7 Principio general para ZPR's diferentes.

2.5 Medidas de Seguridad para Tanques de Almacenamiento

La primera condición para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles es la construcción de recipientes debidamente proyectados y herméticos que permitan la descarga de los vapores cuidadosamente. En esta parte y en las siguientes se establecen las medias básicas de seguridad para el almacenamiento y manipuleo de los líquidos inflamables.

La instalación de los tanques puede ser aérea o subterránea. Las aberturas y conexiones con los tanques para ventilación, medición, llenado y extracción pueden originar riesgos, si no están debidamente protegidas.

Si los tanques están debidamente contruidos, bien instalados y cuidados, el almacenaje de líquidos inflamables y combustibles encierra menos peligros que su transporte o trasvase.

Distancias mínimas desde los tanques de almacenamiento	Separación mínima entre elementos en metros
A edificios ubicados dentro del predio	8
A dispensarios	8
A la vía pública en accesos y salidas	8
Al límite del predio en colindancia	15
A edificaciones que reciben una afluencia masiva de personas	30
A líneas de alta tensión	30
A ductos que transporten hidrocarburos	30
A vías férreas con derecho de vía federal conocido	50

Tabla 2.1 Distancias mínimas desde los tanques de almacenamiento.

2.6 Fabricación de Tanques para Gasolina

Un tanque de almacenamiento para gasolina es en realidad un contenedor que cumple con las normas de almacenamiento para líquidos inflamables, y una de las características más importantes, es que debe de ser seguro.

Dependiendo el uso y aplicación requerida para el tanque de almacenamiento, es que existen diferentes tipos, por ejemplo; están los tanques fijos, los tanques que almacenan e inyectan combustible, tanques móviles, y los tanques pipa para transportar gasolina o diesel.

Los tanques de almacenamiento para gasolina son muy especiales, por lo tanto debe de seleccionarse muy bien al distribuidor, ya que es muy importante cumplir con los requerimientos especiales que estos tanques necesitan.

2.7 Características de los Tanques de Almacenamiento para Combustible

- Las capacidades de los tanques de almacenamiento van desde los 200 hasta los 100,000 litros.
- Los tanques pueden ser verticales, horizontales o subterráneos.
- Algunos tanques cuentan con contenedores de derrame de diesel o gasolina.
- Diseño y fabricación de tanques a la medida.
- Pueden incluir medidores para el control de nivel y llenado.
- Los materiales de fabricación son acero inoxidable o incluso acero al carbón.
- Cumplen con las normas de requerimiento para estos tipos de tanques, por ejemplo la norma UL 142.

2.8 Tanques para Gasolina Fijos

Los tanques para gasolina fijos, son aquellos tanques que no son móviles, es decir, no pueden trasladarse.

Estos tanques normalmente no se trasladan ya que tienen una capacidad superior a 3,000 litros.

Su instalación puede ser de 3 maneras distintas:

- 1- Sobre la superficie o en el exterior.
- 2- Semienterrados.
- 3- Enterrados bajo el nivel terrestre, o en fosa.

2.9 Normas de Seguridad en Tanques de Almacenamiento

(D. Berger, Bill; Kenneth E. Anderson. Petróleo moderno. Un manual básico de la industria. S.F.)

Ejemplos de medidas de seguridad fundamentales en el inventariado y manejo en tanques de petróleo son las siguientes:

- No fumar o llevar materiales humeantes. Es muy posible que haya materiales volátiles con bajo punto de inflamación presentes.
- No pisar o caminar sobre los techos de los tanques.
- Conservar la cara y la parte superior del cuerpo apartada cuando se abran las portezuelas del muestreador. Es muy posible que se produzca una emisión de gases acumulados y vapores al abrir la portezuela.
- Nunca, bajo ninguna circunstancia debe entrar a un tanque, salvo que esté usando ropa de seguridad y un dispositivo de respiración aprobado y haya otro operador presente afuera para avisar o auxiliar en caso necesario.

Se extremen las medidas de seguridad con el objetivo de disminuir los accidentes de trabajo y preservar el medioambiente. Está establecido a partir del momento, que todo tanque que se vaya a poner en operación, ya sea reparado o construido, debe contar con un sistema contra incendio de tecnología de punta, aunque la inversión sea alta por este concepto.

Este sistema consta de unas tuberías que forman anillos alrededor del tanque. El anillo inferior es el encargado de verter agua y el superior espuma para evitar el calentamiento del tanque y controlar el incendio. Está normado en los depósitos de combustible un límite de llenado máximo por debajo del anillo de espuma para que este actúe y cumpla su objetivo sin dificultad. Todos los elementos de este sistema se pintan de rojo y son capaces de apagar un tanque a cientos de metros del sistema principal a través de bombas y tuberías.

2.10 Tormentas Eléctricas e Inventariado en Tanques de Almacenamiento

Los rayos pueden provocar situaciones peligrosas, por lo que deben tomarse medidas para proteger el parque de tanques y el Sistema de Inventariado contra dichos peligros. Los sistemas modernos de inventariado incluyen muchos circuitos electrónicos. La posición de los equipos eléctricos en la parte superior de los tanques hace que sean más vulnerables a daños por tormentas que cualquier otro equipo industrial.

Los sistemas de comunicación de hoy en día interactúan con los equipos de campo a través de redes digitales únicas, lo cual aumentan las probabilidades posibles daños en los equipos ya que la red de comunicación se extiende por áreas cada vez más y más amplias. Con los requisitos de elevada fiabilidad y disponibilidad impuestos al Sistema de Inventariado, existe la necesidad de métodos de protección frente a tormentas eléctricas, bien diseñados y perfectamente experimentados en campo.

En un parque de tanques, un rayo crea una diferencia de potencial directa entre el equipo de medida y el sistema receptor en la sala de control, en el esquema de conexión eléctrico vemos al equipo de medida conectado por un lado a la tierra del tanque y por el otro al sistema receptor. El resultado es una diferencia de potencial entre el cable y el equipo medidor o el cable y el sistema receptor. Esta diferencia entre el equipo y el cable tiende a igualarse, buscando un camino de baja impedancia entre la circuitería conectada al cable y tierra. Tan

pronto como la diferencia de potencial excede el voltaje de aislamiento, se produce un cortocircuito entre la electrónica y tierra. Además, también aparecerán corrientes transitorias inducidas en componentes y cables adyacentes.

Estas descargas eléctricas pasando a través de circuitos eléctricos causan efectos desastrosos. Cada semiconductor que no sea suficientemente rápido o capaz de soportar las corrientes generadas, aún en periodos de tiempo muy cortos, será ineludiblemente destruido.

Dos son las técnicas utilizadas para minimizar los daños producidos por rayos y corrientes transitorias: Supresión y Derivación.

2.11 Técnicas para minimizar los daños producidos por Rayos y Corrientes Transitorias en los Tanques de Almacenamiento

2.11.1 Circuito Supresor

Incorporando circuitos especiales en todas las entradas y salidas de cables, es posible aminorar la magnitud del transitorio visto por el instrumento.

Un tubo de descarga de gases es la clave de esta solución. Los tubos de descarga de gases están disponibles para protecciones contra voltajes desde 60 V hasta más de 1000 V y tienen un tiempo de reacción de algunos microsegundos, después de los cuales generan un paso de gas ionizado conductor. No dan protección hasta que no son plenamente conductores.

Un "transorb" o varistor, en combinación con una resistencia y preferiblemente una inductancia pueden añadirse para mejorar la protección. Estos semiconductores reaccionan en un par de nanosegundos y limitan el voltaje. El mayor problema es que cada vez que reacciona un supresor de transitorios, se degrada. La fiabilidad es por lo tanto más bien pobre, lo cual hace que estas técnicas de protección no sean adecuadas para aplicaciones tan críticas como el Inventariado en Tanques.

2.11.2 Circuito Derivador

La derivación es una técnica más fiable y más adecuada para protección contra tormentas eléctricas de los instrumentos del Inventariado en Tanques. Las técnicas modernas de protección utilizan la derivación en combinación con apantallamiento y aislamiento galvánico total. Se trata de una técnica en la que los grandes picos de voltaje son derivados más que disipados.

Son utilizados transformadores desarrollados especialmente en todas las entradas y salidas. Tienen dos pantallas de tierra internas separadas entre primario y secundario y el núcleo del transformador. El cableado proveniente del exterior del equipo está separado físicamente del cableado interno, al tiempo que se equipan todos los circuitos con tierras propias con el fin de blindar la electrónica en su conjunto.

Desafortunadamente este método no es aplicable con señales de corriente continua. En este caso se utilizan protecciones convencionales junto a aislamientos de tipo galvánico.

2.11.3 Conexión a Tierra y Apantallado

Un correcto apantallamiento y puesta a tierra de los instrumentos y sistemas conectados en campo es de gran ayuda contra los daños por tormentas eléctricas. El posible camino de

descarga a través de la brida de un instrumento y la correspondiente brida de montaje, debe disponer de una resistencia cercana al cero, para prevenir la creación de diferencias de potencial.

Una débil o total falta de toma a tierra, puede ser la causa de chispas y la posterior ignición de los vapores del producto circundante.

2.11.4 Experiencia en Campo

Los diversos métodos descritos para protección contra tormentas eléctricas, han sido usados durante más de 15 años, con aproximadamente 50.000 instrumentos instalados. Casi el 100% de estos equipos están instalados en el techo de los tanques de almacenamiento e interconectados a través de redes de área local.

Un gran número de instalaciones están situadas en zonas de riesgo de tormentas eléctricas. Hasta la fecha, sólo se han producido unos pocos incidentes, donde las tormentas eléctricas, hayan tenido una actuación decisiva. Los daños producidos son siempre limitados y pueden ser reparados localmente con un gasto mínimo. Antes de que estos métodos de protección fueran utilizados, se experimentaban más daños por tormentas eléctricas.

En algunos países las medidas de seguridad se extreman para la protección del trabajador y los recursos materiales. Se tiene en cuenta que un accidente en una refinería o en una zona donde exista una gran cantidad de combustible, traería consigo pérdidas de vidas humanas y recursos al país.

Las principales medidas son las siguientes, independientemente que en cada zona de trabajo existen medidas especiales:

- Prohibido fumar en el área de la planta, excepto en lugares especiales autorizados para tal fin.
- En cuanto a las visitas, solo personas autorizadas por la Administración y no se permite la entrada a menores de edad.
- Se prohíbe la permanencia de animales en la planta.
- Se prohíbe entrar a la planta con fósforos, fosforeras, armas de fuego y linternas que no estén a prueba de explosión.
- Solo podrán introducirse cámaras fotográficas en la planta con autorización expresa de la Administración, y en el caso de su autorizo no podrán tener flash.
- Los vehículos automotores no podrán entrar en la planta, aquellos que no tengan silenciosos en buen estado; no tengan el motor cubierto; no tengan las baterías cubiertas; cisternas sin cadenas conductoras de electricidad estática con no menos de 2 eslabones tocando el pavimento, estando vacías; y tractores diseñados para trabajar en el campo.
- Conexión a tierra de tanques y equipos.

También se toman medidas específicas en cuanto a:

- Trabajo dentro de las plantas.
- Sistemas de drenaje, recolección y disposición de residuales.
- La unidad debe estar provista de botiquines.
- Operaciones nocturnas, que introducen riesgos adicionales de accidentes.
- Área de gases.
- Comprobaciones e inspecciones periódicas.

- Diagrama de flujo del sistema de tuberías.
- Carga de gasolina y otros productos volátiles.
- Altura de llenado de los tanques teniendo en cuenta su capacidad operacional para evitar reboses del producto. (Ver Anexo 1)

El personal encargado de las mediciones debe estar el menor tiempo posible en el techo del tanque, lo que dificulta el trabajo preciso de la medición impidiéndola en ocasiones debido a la elevada concentración de gases.

En el caso de los tanques de techo flotante son necesarios dos operadores, uno para realizar la medición y un segundo operador situado en la escalera lateral del tanque, para en caso de un accidente, socorrer al que realiza la medición debido a la alta concentración de gases en el techo del tanque.

Los equipos de tele medición de nivel pueden utilizarse en tanques de almacenamiento de alta presión. También se pueden realizar mediciones muy exactas en productos con baja presión de vapor y en tanques que contengan productos muy viscosos como asfaltos oxidados, productos contaminantes o líquidos turbulentos. Las mediciones manuales en estos casos se ven afectadas por la viscosidad del producto, dificultando la precisión en la medida y presentan una alta probabilidad de ignición, téngase en cuenta que para realizar una medición en el techo de un tanque, una de las normas de seguridad plantea que el calzado no puede tener clavos en la suela que puedan provocar una chispa.

2.12 Efectos de la Corriente del Rayo sobre los Tanques de Almacenamiento

Los fuegos causados por el relámpago en tanques de almacenamiento de petróleo son más comunes de lo que se piensa. Según una revista de incendios en tanques de petróleo entre los años 1951 y 2003, el número de incendios reportado en las noticias alrededor del mundo era de 15 a 20 incendios por año. Los incidentes de los fuegos de tanque variaron mucho, desde un fuego de sello a múltiples fuegos simultáneos de todo el tanque. De los 480 fuegos reportados en la media, aproximadamente una tercera parte de estos eran debido al relámpago.

Otro estudio, conducido por 16 compañías de petróleo, descubrió que 53 de 55 fuegos de sello eran causados por el relámpago, y concluyó que “el relámpago es el recurso más común de ignición.”.

En la figura 2.8 se observa el comportamiento típico de una onda de corriente tipo rayo con cada una de sus componentes tabla 2.1

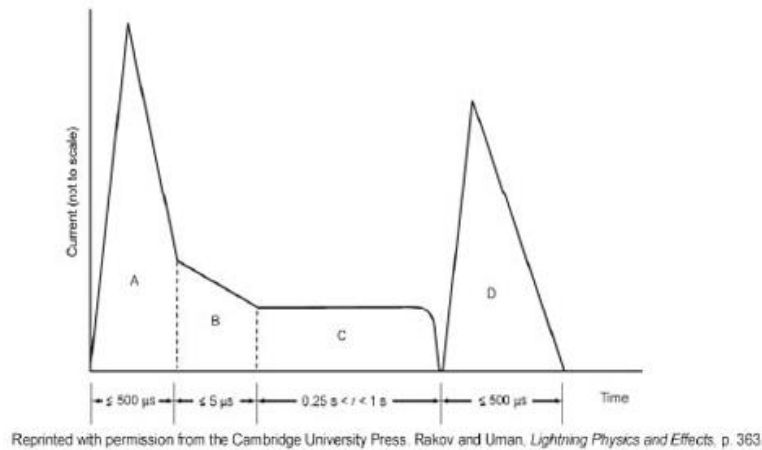


Fig. 2.8 Onda de corriente típica de Rayo.

Component	Amplitude, kiloamperes	Charge Transfer, coulombs	Duration, milliseconds
A (first return stroke)	200 (+10%) peak	NA	≤ 0.5
B (intermediate current)	2 ($\pm 20\%$) average	10 ($\pm 20\%$) max	≤ 5
C (continuing current)	0.2 to 0.8	200 ($\pm 20\%$)	250 to 1000
D (subsequent return stroke)	100 ($\pm 10\%$) peak	NA	≤ 0.5

Tabla 2.1 Valores de los componentes.

La API 545 relaciona tres posibles eventos que pueden ocurrir para los tanques de techo flotante; impacto directo sobre la pared del tanque, impacto directo en el techo del tanque, impacto en una estructura cerca del tanque. Para tanques de techo fijo se tiene el impacto directo en el techo y el impacto cercano al tanque.

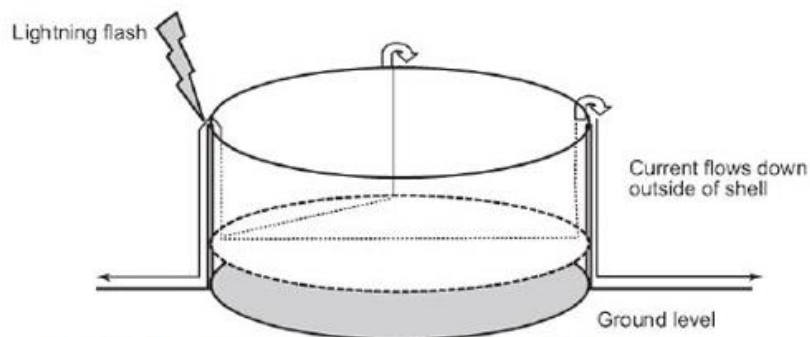


Fig. 2.9 Impacto directo en la pared del tanque.

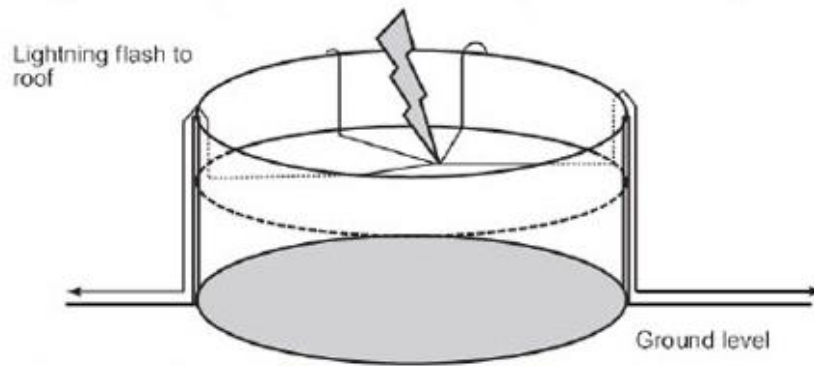


Fig. 2.10 Impacto directo en el techo del tanque.

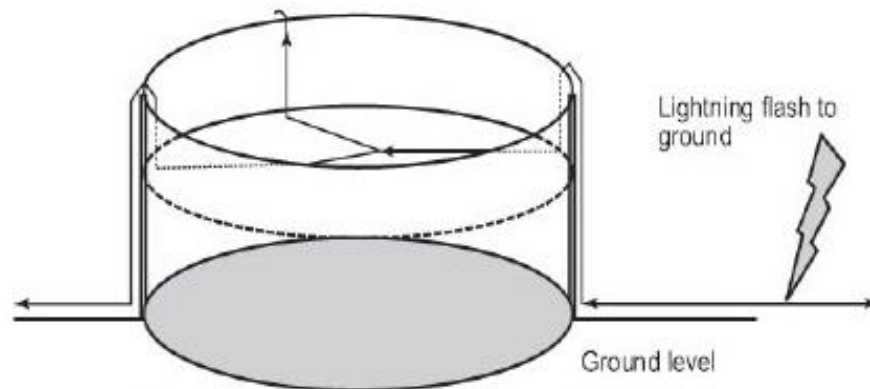


Fig. 2.11 Impacto cerca del tanque.

Aparte de la fuente de ignición es necesario que existan otros elementos para que se origine un incendio, en la figura 2.12 se presenta el tetraedro del fuego.

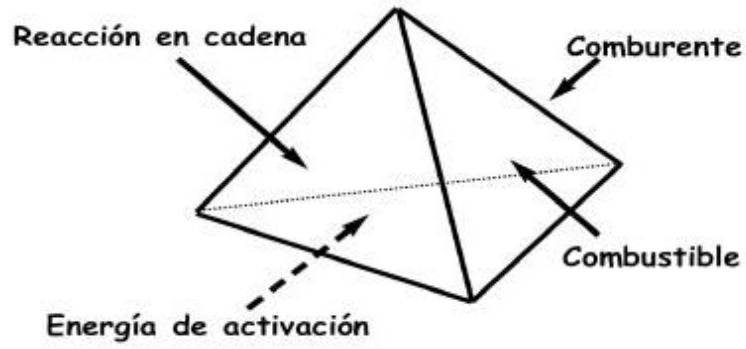


Fig. 2.12 Tetraedro del fuego.

A continuación se muestran las curvas típicas de diferentes tipos de explosión.

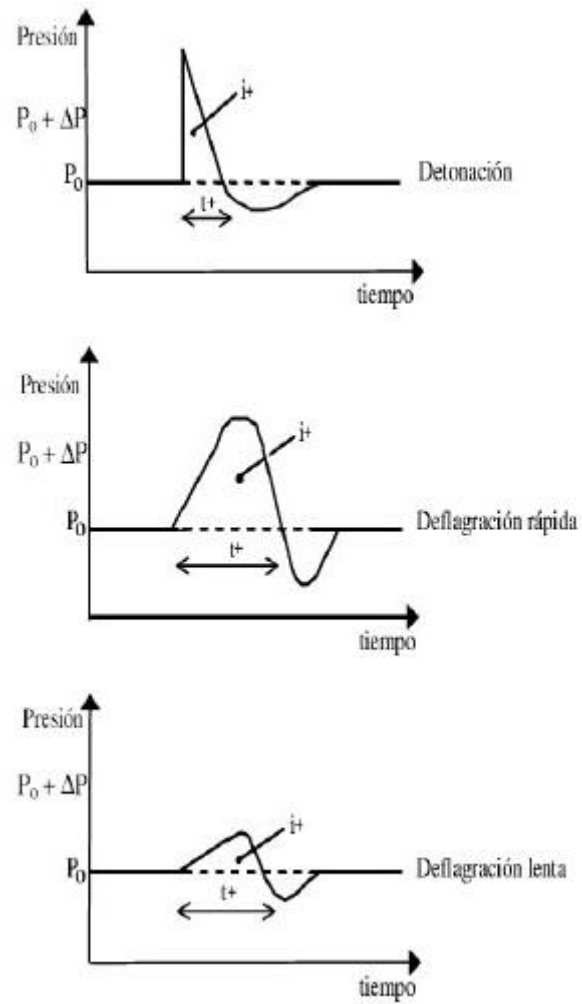


Fig. 2.12 Onda de choque para diferentes tipos de explosión.

3. Desarrollo

3.1 Procedimiento para la Evaluación del entorno Electromagnético del Tanque de Combustible

Consistió en la elaboración de:

- Estudio de Resistividad de Suelos.
- Estudio de Resistencia de Puesta a Tierra.
- Inspección de Conexiones a Tierra de toda la instalación asociada al tanque de combustible.
- Inspección de Sistema de Protección contra descargas Atmosféricas contra descargas directas.
- Inspección de Sistema de Protección contra efectos Secundarios de las Descargas Indirectas.

La medición e inspección se realizó con el criterio de discriminar la adecuada correlación entre los subsistemas de protección existentes y el planteado por los institutos de investigación internacionales a través de las normas aplicables.

Por último se ofrecen conclusiones y recomendaciones para adecuar el sistema de protección contra descargas del tanque de combustible para hacerlo inmune a eventuales descargas atmosféricas.

3.2 Estudio de Resistividad del Suelo.

La resistividad del suelo fue obtenida por el análisis de las mediciones realizado por el método de Wenner, para la medición y Tagg para el procesamiento de los datos; lo cual permitió definir el modelo del suelo. La tabla 3.1 muestra el promedio de los valores medidos y la figura 3.1 muestra la curva de resistividad aparente.

DISTANCIA (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
1	303.53
2	179.94
3	108.96
4	69.25
5	47.73
6	32.03
7	22.27

Tabla 3.1 Valores promedio de las mediciones de resistividad.

La figura 3.1, muestra la presencia de un suelo no homogéneo, y por analogía con curvas típicas, indica que se trata de un terreno donde es factible aplicar un modelo de dos capas, obteniendo los siguientes resultados:

- Resistividad de la primera capa: 342.05 Ohm-m
- Resistividad de la segunda capa: 25.96 Ohm-m
- Profundidad de la primera capa: 1.485 m

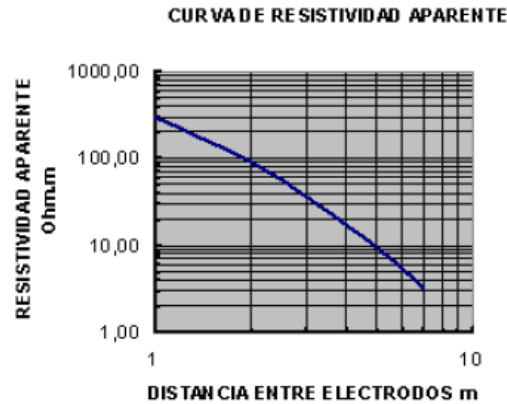


Fig. 3.1 Curva de resistividad del suelo.

3.3 Resistencia a Tierra

La resistencia a tierra de un electrodo está compuesta por la resistencia del electrodo mismo (metal), resistencia de contacto entre el electrodo, el suelo y la resistencia del suelo. Las primeras dos resistencias pueden hacerse pequeñas con respecto a la tercera, y se pueden despreciar para propósitos prácticos.

3.3.1 Valores recomendados para la Resistencia a Tierra.

Los sistemas de puesta a tierra de acuerdo a la aplicación tienen que cumplir con unos valores establecidos por ley, según la tabla No. 24 del RETIE:

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra
Estructuras de líneas de transmisión. (Metálicas o con cable de guarda de distribución).	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω

Tabla 3.2 Valores de resistencias de puesta a tierra.

Sin embargo estos valores se encuentran establecidos a cumplir por la legislación Colombiana y referenciados por normas nacionales e internacionales como IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552, pero más que estos valores se tiene que garantizar las tensiones de paso, contacto y transferidas que son los parámetros claves para la seguridad de las personas.

Para este caso la resistencia del diseño de la malla de puesta a tierra no tiene que superar 10 ohmios, pero por encima de este valor están los parámetros de las tensiones de paso, contacto y transferidas.

3.3.2 Método de caída de tensión para la medición de la Resistencia de la Puesta a Tierra

Procedimiento para evaluar la resistencia de la red de puesta a tierra.

- a) Ajustar a cero la aguja del instrumento de medición analógico o verificar que la fuente de poder del equipo digital tenga suficiente energía para realizar el conjunto de mediciones, y comprobar la ausencia de tensión eléctrica en el sistema antes de efectuar la medición. En cualquier caso, constatar que el equipo de medición tenga el registro vigente de calibración;
- b) La aplicación de este método, consiste en hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado c1 (que corresponde a la red de puesta a tierra) y un segundo electrodo auxiliar c2, mismo que se introduce al terreno a una distancia mínima de 20 metros. Para realizar la primera medición se introduce en el terreno un tercer electrodo auxiliar denominado p1, a un metro de distancia entre el electrodo bajo prueba c1 y el electrodo auxiliar c2. El segundo punto de medición se debe realizar desplazando el electrodo auxiliar p1 de manera radial a 3 metros de la primera medición y en dirección al electrodo auxiliar c2, los siguientes puntos de medición se desplazarán cada 3 metros hasta complementar 19 metros;
- c) los valores registrados se deben reportar en el informe.
- d) Los valores de la resistencia de la red de puesta a tierra que se obtengan en esta prueba, deben estar comprendidos entre 0 y 10 ohms para el sistema de pararrayos, y tener un valor no mayor a 25 ohms para la resistencia de la red de puesta a tierra, con objeto de drenar a tierra las corrientes generadas por las cargas eléctricas estáticas.

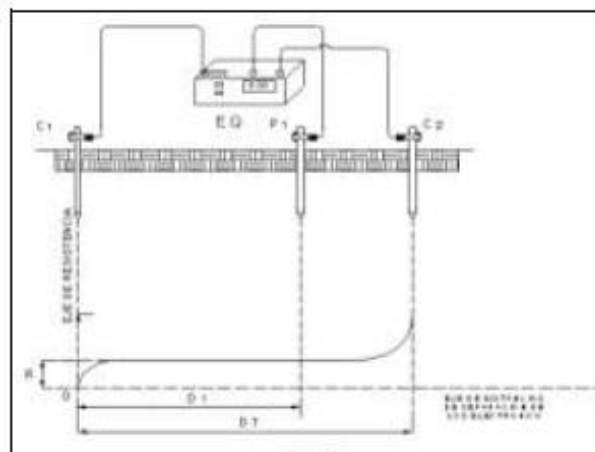


Fig. 3.2 Método de caída de tensión

3.4 Inspección de Conexiones a Tierra de toda la instalación asociada a los Tanques de combustibles.



Fig. 3.3 Inspección del tanque de Premium



Fig. 3.4 Inspección del tanque de Magna



Fig. 3.5 Inspección del tanque de Diesel

3.5 Protección contra Descargas Directas (PCDAE)

El PCDAE tiene la finalidad de proporcionar protección al tanque contra golpes directos. Consta de tres elementos: terminales de aire para interceptar las descargas directas, conductores bajantes para guiar las corrientes a un lugar seguro y el SPT que es el lugar donde se disipará la energía de la descarga.

Los tanques de la industria petrolera son considerados receptores naturales, si y solo si, están construidos con materiales de espesores apropiados (no menos de 4,8 mm) y que el incremento de temperatura de la superficie interna en el punto de impacto no constituya peligro de explosión.

En el caso que no se cumpla lo anterior, se deben proporcionar terminales de aire (varilla tipo Franklin con punta redonda no puntiaguda) instalados en configuraciones con mástiles ubicados en las esquinas, puntos expuestos sobresalientes del tanque y en sus bordes.

Se debe tener en cuenta que los elementos de intercepción que están provistos de varillas tipo Franklin deben tener una altura por encima de las partes altas del tanque, no menor a 25 cm. El Método de Esfera Rodante, será el apropiado para ubicar los terminales de aire, con un radio de 30 m para la esfera (valor típico en zonas tropicales). Para evitar las descargas que impactan de costado como protección a los equipos adheridos al tanque, será manejada una distancia de separación de 20% de la parte más alta del tanque.

3.6 Protección contra Descargas Atmosféricas para Tanques de Almacenamiento

Para realizar la protección contra descargas para los tanques de almacenamiento tratados en se debe realizar lo siguiente:

1 Para Tanques de Techo Fijo:

Tomando como referencia la NFPA 780 y la API 2003. Lo primero que se debe realizar es el estudio de análisis de riesgo, los tanques de almacenamiento se pueden considerar auto protegidos (bajantes naturales de rayos) si cumplen lo siguiente:

- Si tienen un espesor de fabricación del techo de 3/16” (4.8mm)
- Todas las placas están atornilladas o soldadas, para que exista una continuidad eléctrica.
- Las tuberías que entran al tanque metálicas, conectadas con continuidad eléctrica al tanque.
- Todas las aberturas de vapor o gases se sellan o se les prevee un sistema de protección (fire arrester), donde el sistema de almacenamiento produce vapores en condiciones normales de operación.

De lo anterior se deben verificar las siguientes condiciones:

- El espesor de la lámina en el techo y en los puntos donde se une el techo con el cuerpo no debe ser inferior a 4.8mm, esto debido a efectos de corrosión.
- Verificar el tipo de líquido almacenado y los niveles de energía mínimos de ignición, además de las presiones de funcionamiento.
- Se debe verificar la condición del sistema de puesta a tierra garantizando equipotencialidad y una resistividad de menos de 10 ohm.
- Los diseños de protección catódica deben diseñar con compatibilidad electromagnética con el sistema de tierra, garantizando que el sistema de tierra no se sacrifique.
- Los tubos de proceso deben estar provistos con spark gap en las bridas de aislamiento, y puestos a tierra mínimo cada 30 metros.
- Los equipos que estén ubicados por encima del nivel del techo como; radares, válvulas de presión y vacío, venteos, instrumentos de medida de temperatura, presión, nivel deben cumplir las siguientes características.

1. Ser intrínsecamente seguros por estar en áreas clasificadas
2. Su diseño estructural debe ser como mínimo en 4.8 mm y no tener materiales aislantes o semiconductores, que puedan generar chispas al momento de una elevación brusca de un potencial eléctrico esto debido a efectos capacitivos.
3. Garantizar que en un evento de rayo no presentará diferencias de potencial altas que produzcan chispas (ver figura 11).
4. De no existir continuidad eléctrica entre los equipos se debe garantizar dicha continuidad, con conectores especiales vía chispas.

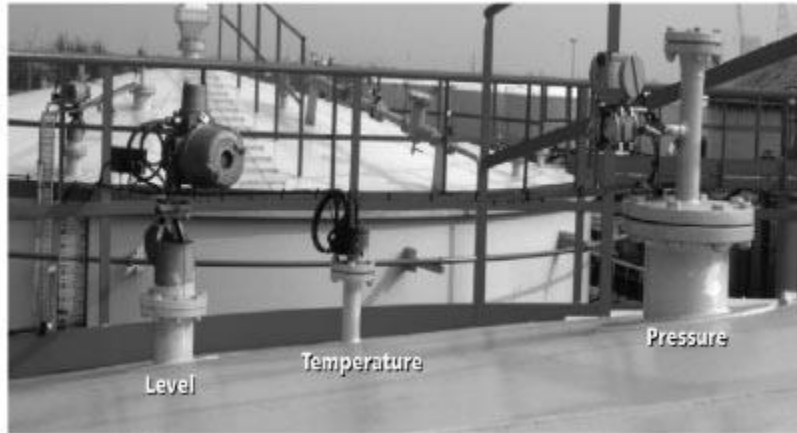


Fig. 3.6 Equipos que están ubicados encima del techo.

En la figura 11 se observa un equipo especial diseñado para que cuando una alta corriente de falla circula por el no produce chispas.

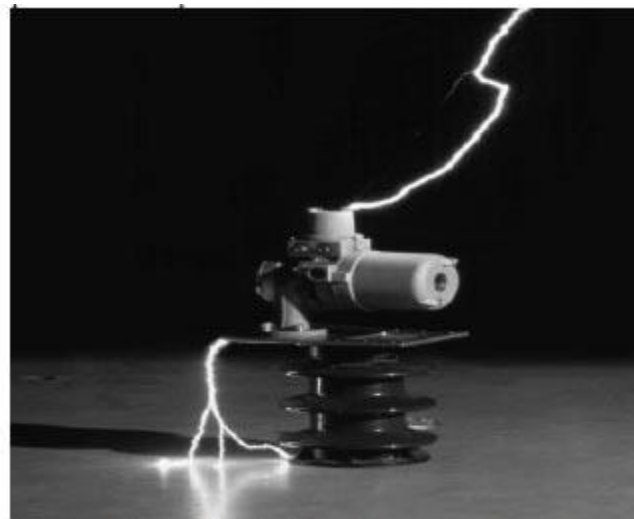


Fig. 3.7 Equipo intrínsecamente seguro.

Para determinar si los tanques de techo fijo se consideran auto protegidos es necesario verificar el tipo de líquido almacenado, en qué porcentaje de concentración se encuentra, la cantidad de mezcla vapor gas presente en el ambiente, el nivel de ventilación natural de la zona (velocidad del viento), límite inferior de la energía de activación de la mezcla.

De ser requerido apantallar, es necesario implementar todas las consideraciones anteriores esto debido a las tensiones inducidas al tanque, en el momento de un evento. Coordinar muy bien el sistema de apantallamiento con el sistema de tierra para llevar controladamente la corriente de rayo a tierra.

Y verificar que la disipación de dicha corriente no eleve bruscamente el potencial eléctrico en el tanque. Además del área vulnerable que se crea con las puntas captadoras, para la caída de un rayo.

De acuerdo con la NFPA-780-2006, los tanques con espesores en sus paredes mayores a 4.8 mm no requieren de protección contra descargas atmosféricas, ellos están auto protegidos, es decir; su estructura metálica es capaz de soportar y drenar las descargas atmosféricas directas hacia tierra sin daño a la misma, siempre y cuando se garantice la continuidad eléctrica entre la estructura metálica y tierra. Las pruebas de En líneas generales el sistema.

2 Para Tanques de Techo Flotante

Para este tipo de tanques se debe cumplir los ítems de los tanques de techo fijo.

Aparte de esto se debe garantizar la unión equipotencial entre el techo y el cuerpo del tanque, siguiendo los requerimientos de la API RP 545:

1. Instalar unas derivaciones (shunts) sumergidas 30 cm, entre el techo y el esqueleto del tanque cada 3 metros alrededor del perímetro del techo, y sacar cualquier derivación arriba del sello.
2. Aislar eléctricamente todos los componentes del conjunto del sello (incluyendo resortes, conjunto de tijeras, membranas de sello, etc.) y todos los postes de calibración e indicación, del techo con un valor de 1KV.
3. Instalar conductores puente entre el techo y el esqueleto del tanque no más que cada 30 metros alrededor de la circunferencia del tanque. Estos conductores deben ser los más cortos posibles y espaciados uniformemente alrededor del perímetro del techo.

Los anteriores ítems son recomendaciones de la norma, en los diseños se recomiendan los numerales 1 y 3, de acuerdo a los estudios las corrientes del rayo son llevadas a tierra controladamente, con estas prácticas.

En caso de un rayo impactar el tanque de techo flotante, se requiere una muy baja resistencia entre el techo y el cuerpo del tanque, la API RP 545 recomienda 0.03 ohm, esto si se usan conductores (bypass), que es una de las soluciones más económicas, fácil de implementar además de la baja impedancia que genera a altas frecuencias.

Las derivaciones shunt pueden generar chispas por la fricción que hacen con la pared del tanque, por esto la norma los recomienda sumergidos en el producto, para eliminar la componente de oxígeno y evitar que el tanque se incendie.

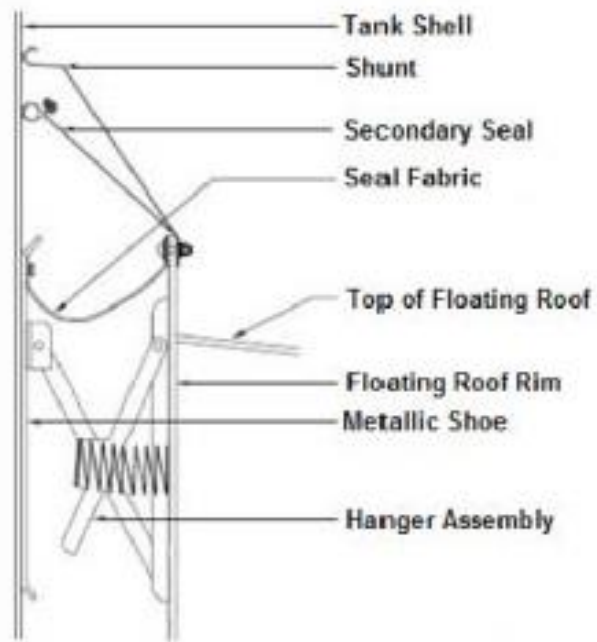


Fig. 3.8 Sellos aislantes entre el techo y la pared del tanque, Derivaciones Shunt.

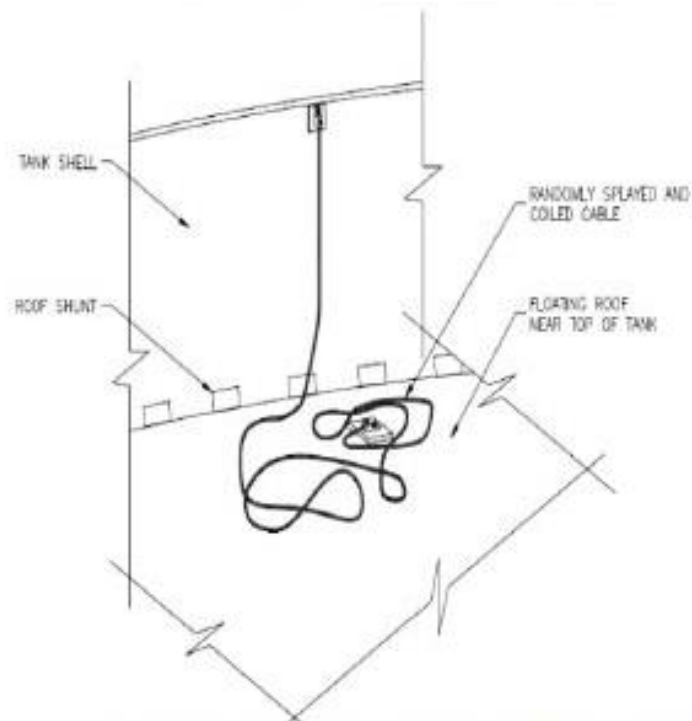


Fig. 3.9 Conductor convencional.

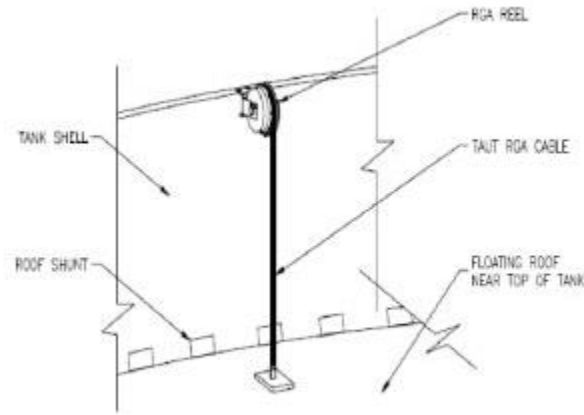


Fig. 3.10 Conductor Retráctil.

Para crear un vínculo entre el techo y el cuerpo, los constructores de un FRT (tanque de techo flotante) instalan dispositivos llamados “derivaciones”. Las derivaciones están hechas de acero tensionado a resorte. Estas derivaciones están conectadas al techo para que estén tocando la pared del tanque constantemente sin considerar la posición del techo flotante. La resistencia del contacto depende en las características del material de la derivación, la presión del contacto y el estado de la pared del tanque.

NFPA 780, el Estándar para la Instalación de Sistemas de Protección Contra el Rayo, requiere que las derivaciones estén espaciadas no más de cada 3 metros alrededor del perímetro del techo, y que las derivaciones sean construidas de correas de acero 50 milímetros de ancho por 4 milímetros de grueso, Las derivaciones están abrochadas a la cima del techo flotante y dobladas para que las derivaciones se aprieten contra el interior, haciendo una conexión con el cuerpo.

Desafortunadamente, las derivaciones no proporcionan un vínculo positivo de baja impedancia al esqueleto del tanque para varias razones:

1. Componentes de petróleo crudo, como la cera, el alquitrán, la parafina, etc. cubren el interior de la pared del tanque, formando una barrera resistente entre el cuerpo del tanque y las derivaciones.
2. La corrosión (oxidación) adentro del cuerpo crea una conexión de alta resistencia entre el cuerpo del tanque y las derivaciones.
3. Aproximadamente 10 a 25% de todos los FRT están pintados por dentro, típicamente con una pintura de epoxi. Lo cual puede aislar eléctricamente el techo del cuerpo.

Los tanques grandes típicamente están fuera-de-círculo. Si un tanque está alargado, las derivaciones se separarán del esqueleto en la dimensión larga del tanque.



Fig. 3.11 Separación del Sistema Shunt.

Para los tanques de techo flotante interno se deben cumplir los requerimientos anteriores y garantizar equipotencialidad entre la membrana y el cuerpo del tanque, esto para control de las descargas electrostáticas.

3.7 Inspección de la instalación de Puesta Tierra

En líneas generales se puede decir que el parámetro resistencia de puesta a tierra tiene un valor adecuado a la instalación pues es menor a cinco (05) Ohm.

Caseta de Instrumentación

La caseta de instrumentación está ubicada en las inmediaciones del Tanque, su sistema de puesta a tierra está conformado por un arreglo de dos electrodos verticales, la figura 3.6 muestra las conexiones a tierra de la caseta.



Fig. 3.6 Conexión a tierra en la caseta.

La figura 3.6, muestra la ruta de los cables de puesta a tierra y su conexión a los dos electrodos presentes. En líneas generales las conexiones al sistema de puesta a tierra es inadecuado, los conectores utilizados y cables utilizados no garantizan un excelente contacto y continuidad.

Las deficiencias en el conexionado al sistema de puesta a tierra de los diferentes tableros asociados a los instrumentos se pueden visualizar en la figura 3.6. El tablero de alimentación posee un avanzado proceso de corrosión, su conexión al sistema de puesta a tierra presenta óxido, lo cual no garantiza continuidad. El tablero de alimentación carece de supresores de sobretensión.

El tablero que aloja el sistema de transmisión de datos inalámbricos hacia el cuarto de control, no presenta una conexión adecuada al sistema de puesta a tierra, se evidencia presencia de óxido y película de pintura entre conectores y la masa del tablero, lo cual no garantiza continuidad.

Se evidencia la existencia de bucles “lazos” en el sistema de puesta a tierra, contraindicado para este tipo de aplicaciones.

Sistema de Videocámara

El sistema de videocámara de vigilancia no cuenta con sistema de puesta a tierra. Su alimentación eléctrica proviene directamente de la red eléctrica del sistema de alumbrado.

Sistema de carga y descargas de combustible

Los bastidores de los conjuntos motor bombas para el llenado y descarga de combustible al tanque, no poseen conexión al sistema de puesta a tierra.

Caseta de Instrumentación y Bombas de carga de combustible

La caseta de instrumentación y bombas de carga de combustible no poseen sistema contra descargas atmosféricas como tal, sin embargo; se deberá verificar el posible apantallamiento natural de los postes metálicos aledaños a la caseta. En la figura 3.6, se muestra una vista panorámica del área de la caseta, donde se puede apreciar la no existencia de un sistema contra descargas atmosféricas.

Sistema de Videocámara

El sistema de videocámara de vigilancia no posee sistema contra descargas atmosféricas.

La localización de los conductores bajantes depende de la localización de los terminales de aire, el tamaño del tanque, la ruta más directa, la seguridad contra daños o desplazamientos, la localización de los cuerpos metálicos, tuberías de agua, el electrodo de puesta a tierra y las condiciones del terreno. Los conductores bajantes están conectados en su otro extremo a los electrodos del SPT en la forma más directa y más corta posible, y evitando curvaturas con ángulo menos de 90°.

El SPT de la PCDAE es el que ya se planteó, ya que cumple con los requisitos de la IEC 62305 [3]. La instalación de los electrodos en combinación con el anillo debe ser de tal manera que se minimicen los efectos de corrosión, sequedad y congelamiento del suelo para así estabilizar la resistencia convencional de puesta a tierra (1 a 5Ω). Los valores máximos admisibles para el voltaje de contacto (VC),(2), y el voltaje de paso (VP),(3), para una instalación puede ser determinada en base de las siguientes expresiones:

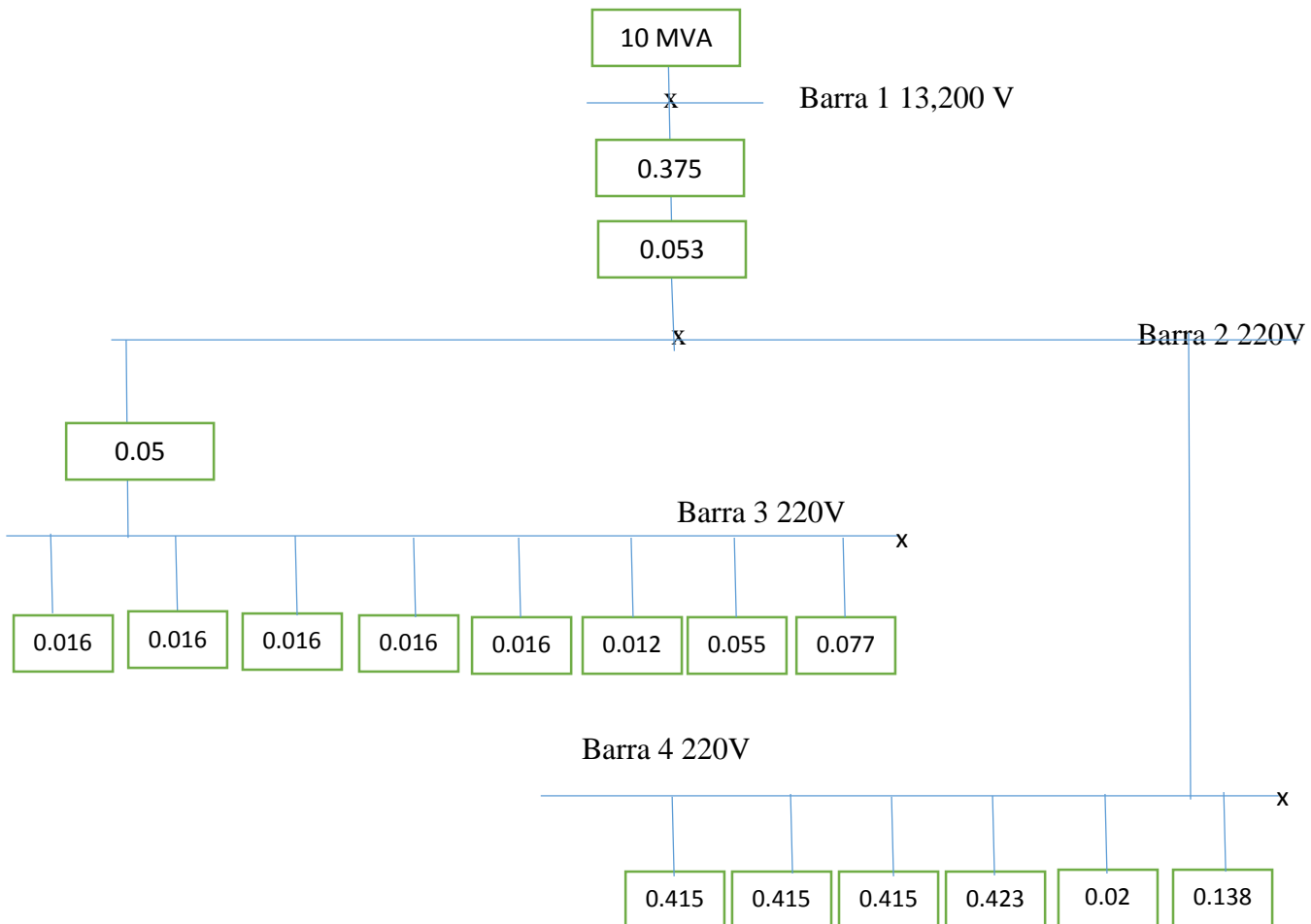
3.8 Cálculo y Diseño de la Malla de Tierra

Paso 1 Convertir las Impedancias a MVA`S

- Suministrador MVAcc = 10 MVA
- Transformador MVAcc = 0.015/0.04 = 0.375
- Aire acondicionado MVAcc = 0.0016/0.03 = 0.053
- Regulador de voltaje MVAcc = 0.001/0.02 = 0.05
- Dispensarios MVAcc = 0.00016/0.01 = 0.016
- Relevador MVAcc = 0.00012/0.01 = 0.012

- Control volumétrico $MVA_{Acc} = 0.00055/0.01 = 0.055$
- Etiquetera $MVA_{Acc} = 0.00077/0.01 = 0.077$
- Bombas $MVA_{Acc} = 0.00083/0.02 = 0.0415$
- Congelador $MVA_{Acc} = 0.00127/0.03 = 0.0423$
- Secadora $MVA_{Acc} = 0.0002/0.01 = 0.02$
- Compresor $MVA_{Acc} = 0.00414/0.03 = 0.138$

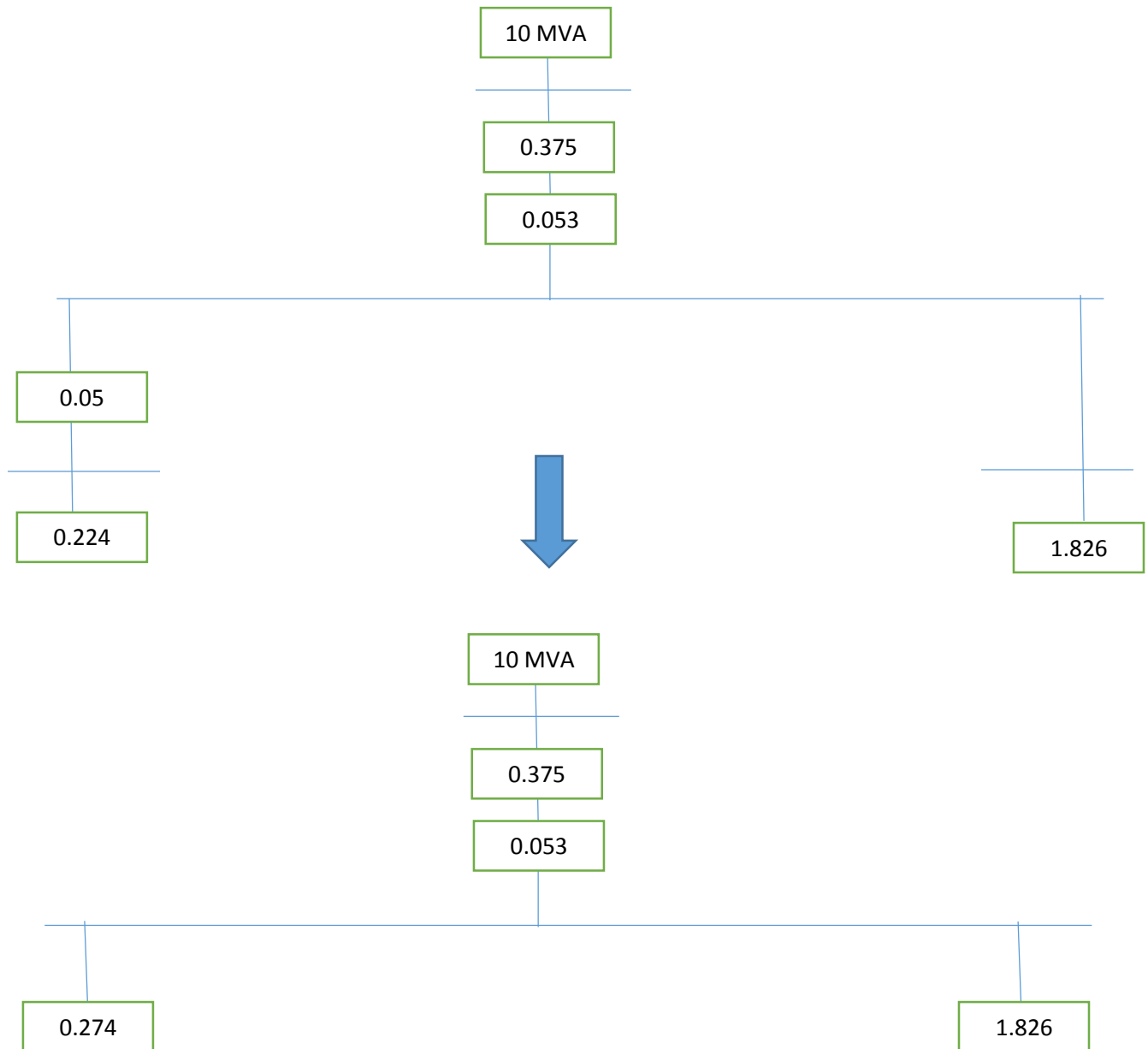
Paso 2 Se elabora el diagrama de MVA`S

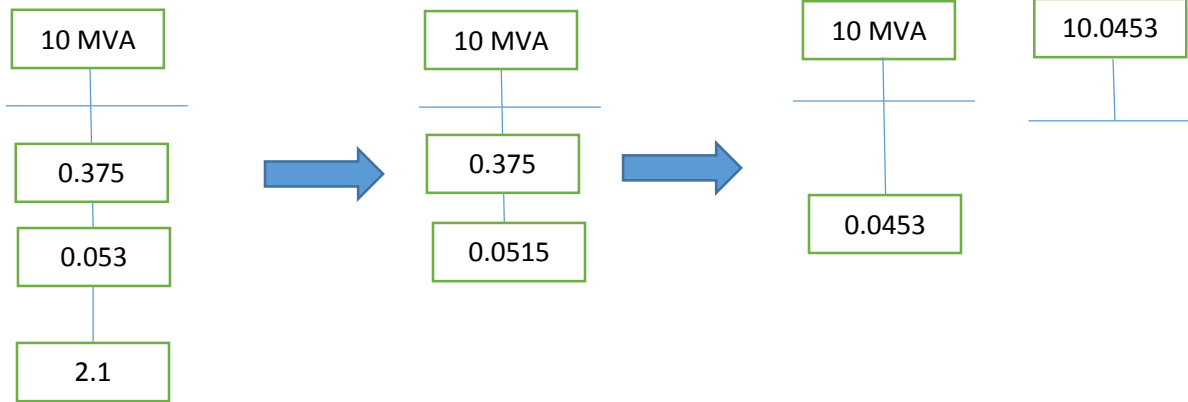


Paso 3 Se reduce el diagrama para la falla en la barra 1

MVA'S en serie: se reducen en paralelo

MVA'S en paralelo: se reducen en serie

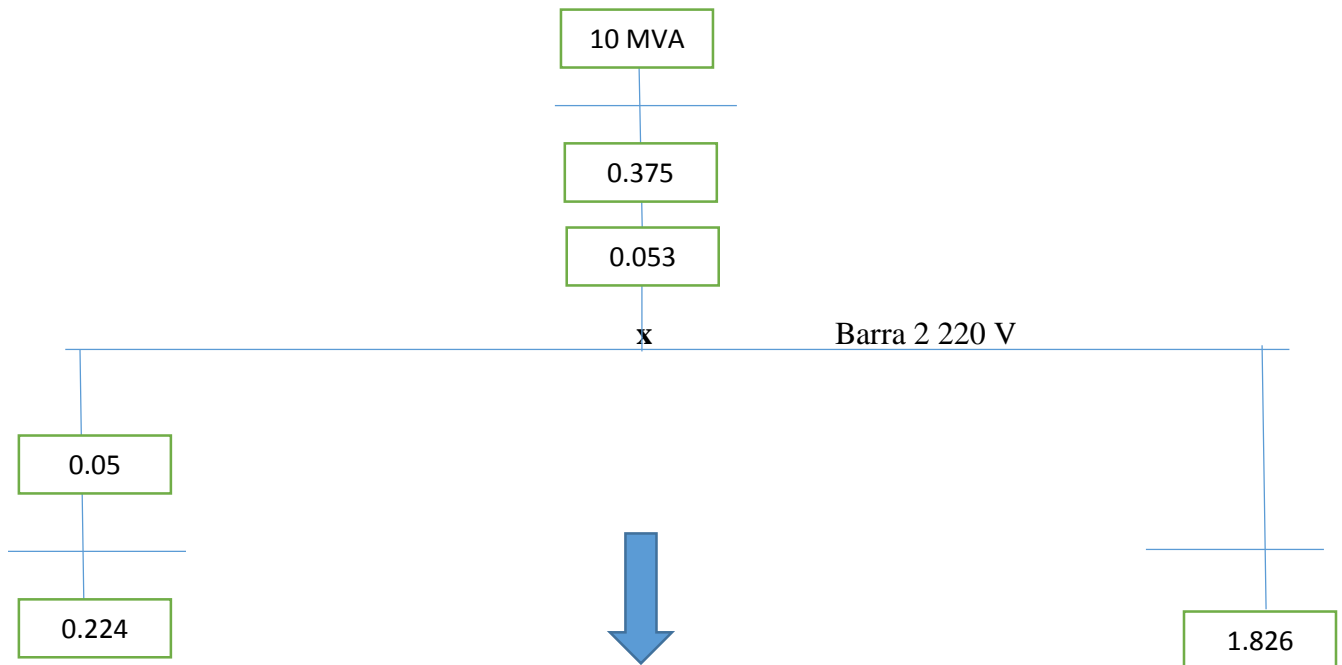


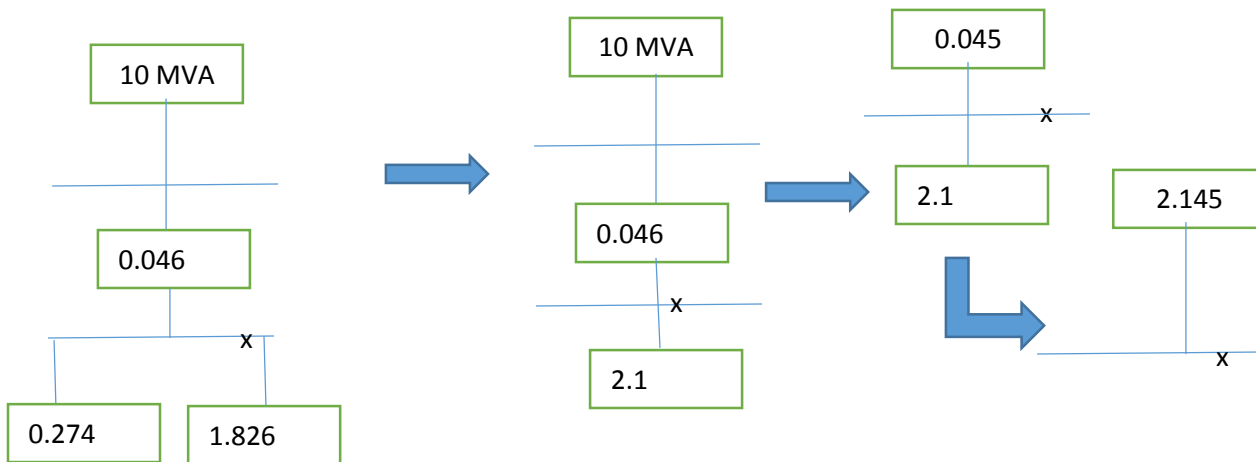


Potencia de corto circuito = 10.0453 MVA

$$I_{cc} = 10.0453 / \sqrt{3}(13.2) = 0.439 \text{ A}$$

Para la falla en la barra 2

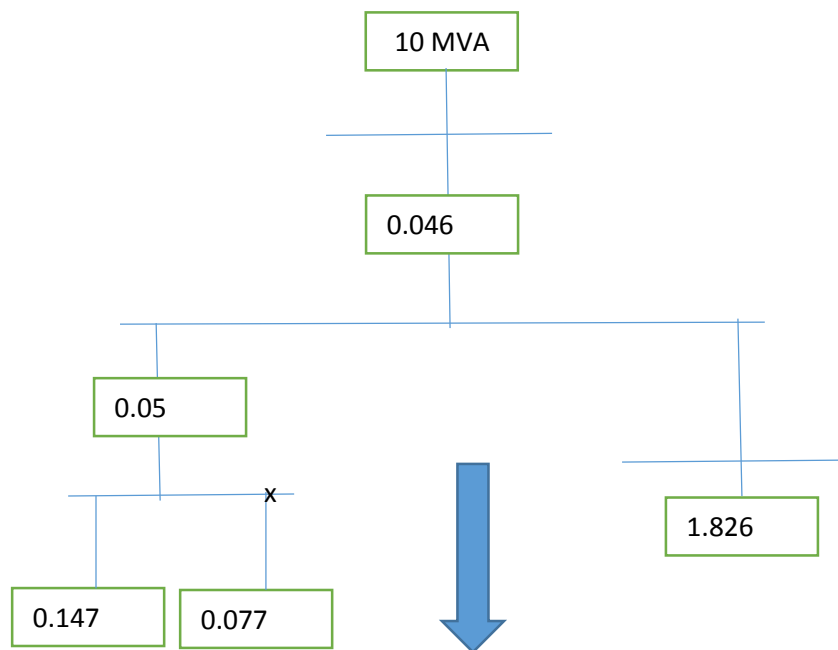


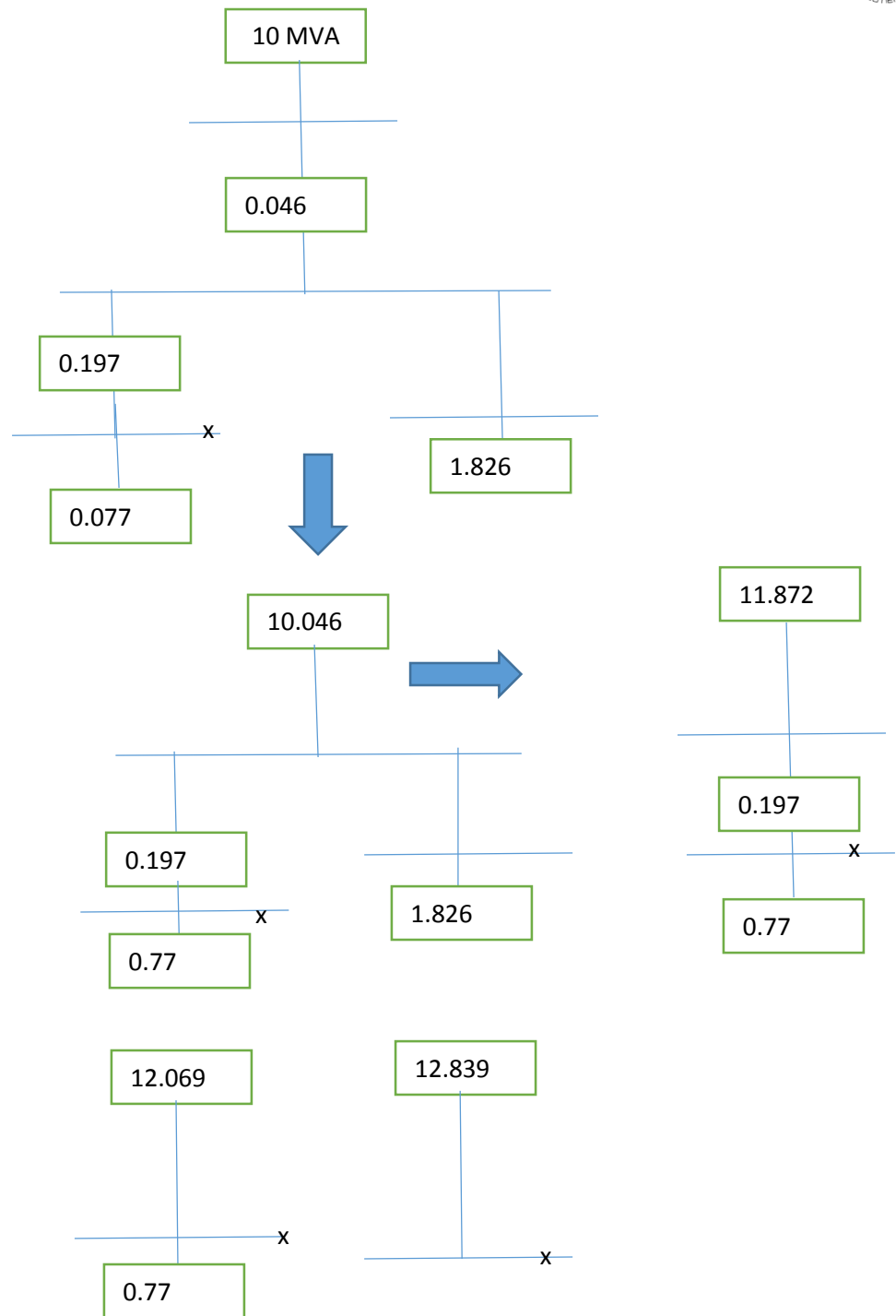


Potencia de corto circuito = 2.145 MVA

$$I_{cc} = 2.145 / \sqrt{3} \cdot (0.22) = 5.63 \text{ A}$$

Para la falla en la barra 3

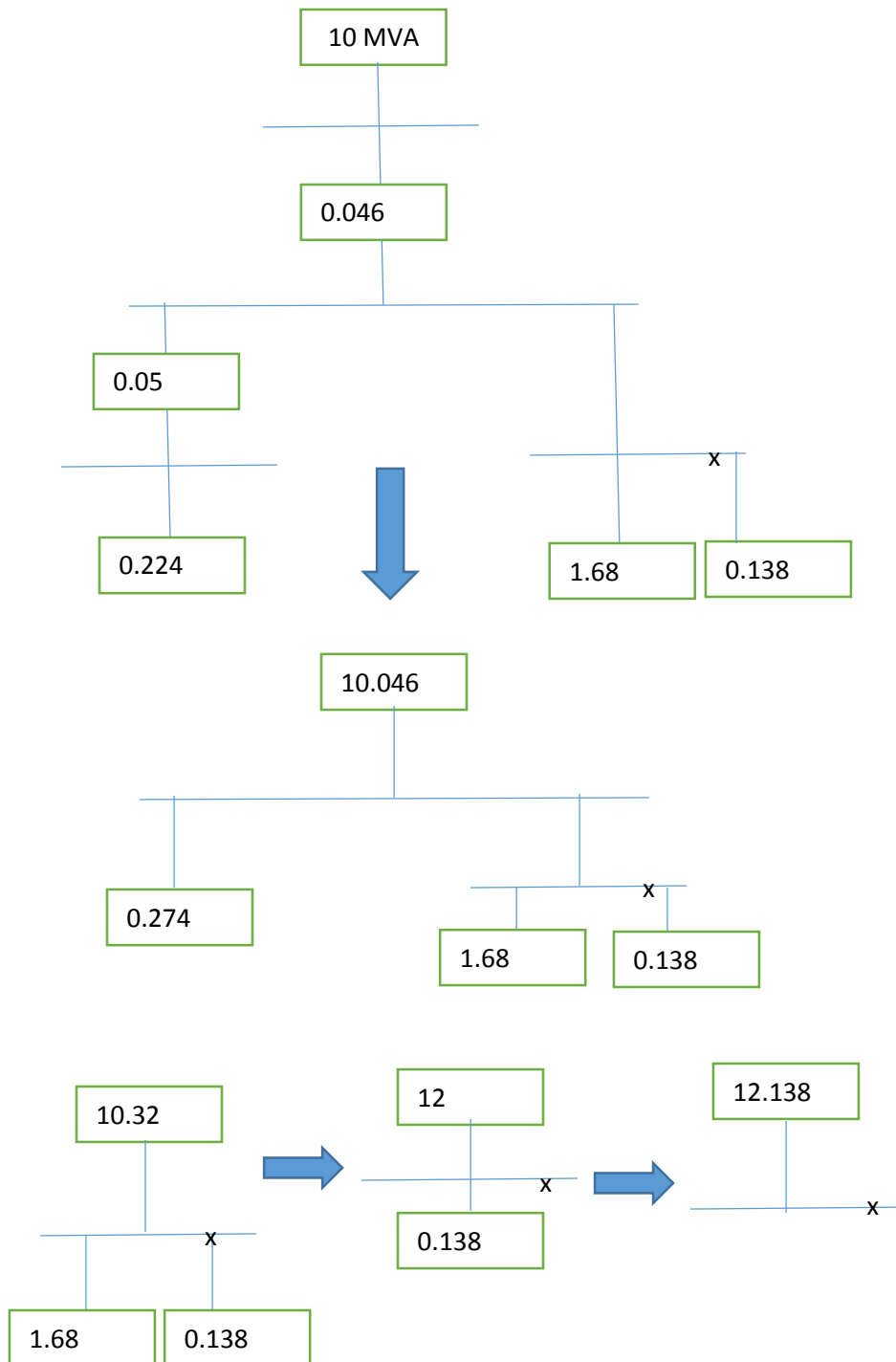




Potencia de corto circuito = 12.839 MVA

$$I_{cc} = 12.839 / \sqrt{3} \cdot (0.22) = 33.69A$$

Para la falla en la barra 4



Potencia de corto circuito = 12.138 MVA

$$I_{cc} = 12.138 / \sqrt{3} \cdot (0.22) = 31.85A$$

Resumen:

- En la barra 1 se requiere un interruptor con corriente de interrupción de 0.439 A
- En la barra 2 se requiere un interruptor con corriente de interrupción de 5.63 A
- En la barra 3 se requiere un interruptor con corriente de interrupción de 33.69 A
- En la barra 4 se requiere un interruptor con corriente de interrupción de 31.85 A

Procedimiento de cálculo de acuerdo a la norma de IEEE STD 80-2000

Datos

$\rho =$ Resistividad del terreno = $75 \Omega - m$.

$I =$ Corriente de Falla a Tierra = $3\ 270.83\ A$

$X/R = 10$

$t = 0.5\ Seg.$

Longitud de la red = $10\ m$

Ancho de la red = $10\ m$

Resistividad superficial (concreto) = $5000 \Omega - m$

Profundidad de la red = $h = 0.6\ m$

Espesor del concreto = $h_s = 0.15\ m$

Longitud de varillas de tierra = $3\ m$

Diámetro de las varillas = $0.0159\ m$

Diámetro conductor 4/0 AWG = $0.0134\ m$

Paso 1

Cálculo de la sección transversal del conductor (cobre desnudo).

1 El factor de decremento es:

Para $X/R = 10$ $t = 0.5\ Seg.$ $D_f = 1.026$.

2 El factor de proyección CP = 1.0 debido a que no existe incremento en la corriente de falla.

3 Corriente máxima de falla a tierra en la malla.

$$IG = 3\,270.83 \times 1.026 \times 1.0$$

$$IG = 3\,355.87 \text{ A}$$

2 La sección del conductor, si se utilizan conectores soldables de bronce $T_m = 450^\circ\text{C}$ de la tabla 2-IEEE STD-80-2000.

$$ACM = I K f \sqrt{tc}$$

$$ACM = 3\,355.87 \times 7.06 \sqrt{0.5}$$

$$ACM = 17\,751.52 \text{ cmil}$$

$$ACM = 17.751 \text{ kmil}$$

Resulta tamaño 13.3 mm² (6 AWG) = 26 240 cmil.

Por la resistencia mecánica se utilizará el tamaño 107 mm² (4/0 AWG) (211, 6 kmil) con diámetro.

$$d = 0.0134 \text{ m.}$$

Cálculo del factor de reducción del valor de σ_s

Factor de reflexión

$$K = \frac{75-5000}{75+5000} = -0.9704$$

Factor de reducción:

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{6}{65})}{2hs+0.09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{75}{5000})}{2 \times 0.15 + 0.09} = 1 - \frac{0.08951}{0.39}$$

$$C_s = 0.7726$$

Paso 2

Cálculo de los potenciales tolerables de paso y contacto.

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

$$\text{Epasso} = (1000 + 6 \times 0.7726 \times 5000) \times 0.157 / \sqrt{0.5}$$

$$\text{Epasso} = (1000 + 23\,178) \mathbf{0.222}$$

$$\text{Epasso} = \mathbf{5\,368.32\ V.}$$

$$\text{Econtacto} = (1000 + 1.5 \text{ Cs Cs}) 0.157 / \sqrt{ts}$$

$$\text{Econtacto} = (1000 + 1.5 \times 0.7726 \times 5000) 0.222$$

$$\text{Econtacto} = (1000 + 5\,794.5) 0.222$$

$$\text{Econtacto} = \mathbf{1\,508.60\ V.}$$

Paso 3

Diseño inicial de la Malla de Tierra

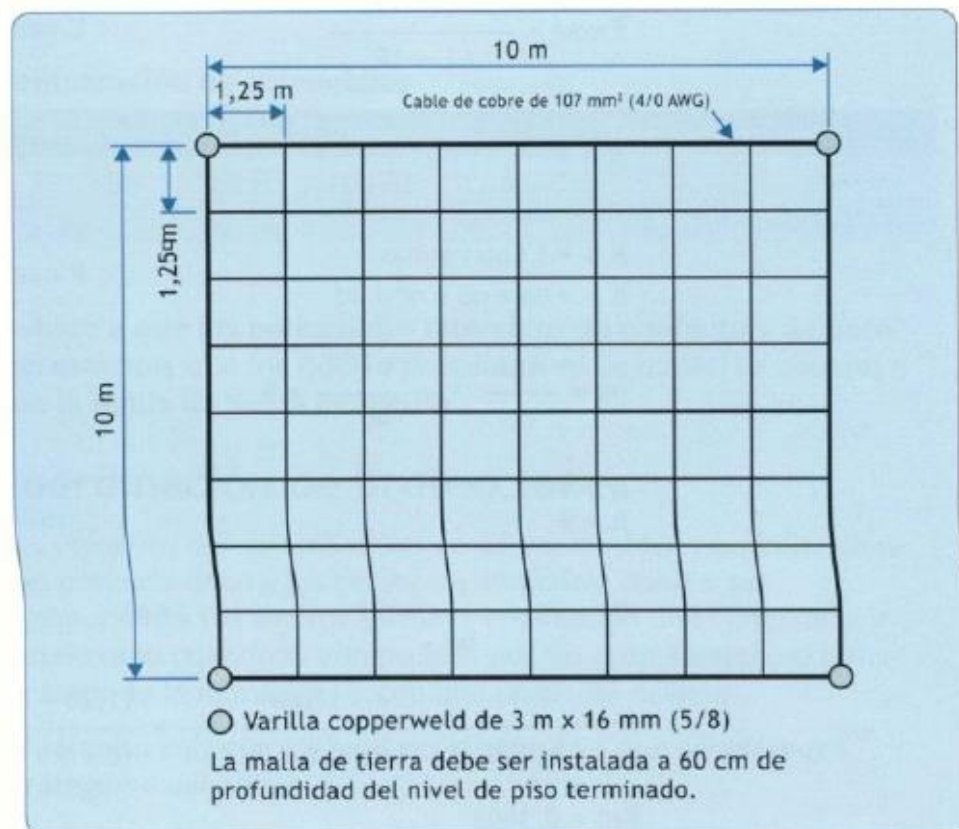


Fig. 3.7 Malla de Tierra.

Paso 4

Determinación de la resistencia de la malla.

$$L_t = 18 \times 10 + 4 \times 3$$

$$A = 10 \times 10 = 100 \text{ m}^2.$$

$$L_t = 192 \text{ m.}$$

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20}A} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{h\sqrt{20}}{A}} \right) \right]$$

$$R_g = 75 \left[\frac{1}{192} + \frac{1}{\sqrt{20} \times 100} \left(1 + 1 + \frac{1}{1 + \frac{0.6\sqrt{20}}{100}} \right) \right]$$

$$R_g = 75 [0.0052 + 0.03999]$$

$$R_g = 3.38 \Omega.$$

Paso 5

Se revisa el GPR.

$$GPR = I_G \times R_G.$$

$$GPR = 3 \ 355.87 \times 3.38$$

$$GPR = 11 \ 342.84 \text{ V.}$$

El GPR = 11 342.84 V es mayor que Econtacto = **1 508.60 V**, por lo tanto se debe evaluar el diseño.

Paso 6

Cálculo de potencial de toque

$$E_{TOQUE} = \frac{\rho I_G K_m K_l}{L_C + L_R}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D-2h)^2}{8dh} - \frac{h}{4d} \right) + (K_{ii} / kh) \ln (8 / 3.14 \times (2n - 1)) \right)$$

$K_{ii} = 1$ Con varillas.

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d.$$

$$n_a = \frac{2 L_c}{L_p} = \frac{2 \times 180}{40} = 9$$

$$n = 9 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$n = 9$$

$$Kh = \sqrt{1} + \frac{h}{ho} = \sqrt{1} + \frac{0.6}{1} = 1.2649$$

$$Km = \frac{1}{6,2832} \left(\ln \frac{1.25^2}{16 \times 0.6 \times 0.0134} + \frac{(1.25 + 2 \times 0.6)^2}{8 \times 1 \times 0.0134} - \frac{0.6}{4 \times 0.0134} \right) + \frac{1}{1,2649} \ln \left(\frac{8}{\pi(2 \times 9 - 1)} \right)$$

$$Km = 0.3693$$

$$Ki = 0.644 + 0.148 n$$

$$Ki = 0.644 + 0.148 \times 9$$

$$Ki = 1.976$$

$$ETOQUE = \frac{75 \times 3355.87 \times 0.3693 \times 1.976}{192} = \frac{183667.63}{192}$$

$$\mathbf{ETOQUE = 956.60 V}$$

Cálculo del potencial de paso

$$ES = \frac{6 \cdot IG \cdot KS \cdot KI}{0.75LC + 0.85LR}$$

$$KS = \frac{1}{\pi} \left(1 / 2h + 1 / (D + h) + 1 / D (1 - 0.5^{n-2}) \right)$$

$$KS = \frac{1}{3.1416} \left(\frac{1}{2 \times 0.6} + \frac{1}{1.25 + 0.6} + \frac{1}{1.25} (1 - 0.5^{9-2}) \right)$$

$$KS = 0.3183 (0.8333 + 1.3333 + 1 / 1.25 (1 - 0.5^7))$$

$$KS = 0.9422$$

$$Ki = 0.644 + 0.148 n$$

$$Ki = 0.644 + 0.148 \times 9$$

$$Ki = 1.976$$

$$E_{paso} = \frac{75 \times 3355.87 \times 0.9422 \times 1.976}{0.75 \times 180 + 0.85 \times 12}$$

$$E_{paso} = 468\,593.68 / 145.2$$

$$\mathbf{E_{paso} = 3\,227.22 V}$$

Paso 7

Comparación de potenciales

Potenciales tolerables		Comparación	Potenciales en malla	
Contacto	1508.60	>	956.60	Contacto
Paso	5368.32	>	3 277.22	Paso

Paso 8

Debido a que los potenciales tolerables de contacto y de paso son mayores que los que se presentan en la malla, se concluye que la malla de tierra es segura.

4. Conclusiones

4.1 Conclusiones

Las características generales del sistema se constituyen de forma general en:

- Conexiones deterioradas con presencia de óxido.
- Existencias de lazos “bucles” de conductores de puesta a tierra.
- Inexistencias de protecciones contra sobretensiones en los equipos electrónicos.
- Diferentes electrodos de puesta a tierra no interconectados, lo cual no garantiza la equipotencialidad.
- Deficiencias en el sistema contra descargas atmosféricas.
- Existencia de equipos eléctricos no conectado a tierra.

Con estas características se puede concluir que el impacto que recibiera el instrumento fue causado por un transitorio por efectos secundarios de la descarga atmosférica por tanto el *PCDAI* debe ser fortalecido con especial interés.

4.2 Soluciones propuestas

Una vez revisados y analizados los requerimientos se proponen las siguientes soluciones generales:

- Utilizar criterios de conexión de puesta a tierra para instrumentos según los establecidos por prácticas y recomendaciones internacionales tales como IEEE, IEC, NFPA, FONDONORMA, PDVSA entre otras.
- Mejorar el sistema de conexión de puesta a tierra.
- Interconectar todos los sistemas de tierra.



- Utilizar supresores de tensión como protección complementaria contra descargas atmosféricas.
- Colocar pararrayos (puntas Franklin) como sistema contra descargas atmosféricas al sistema de videocámara ubicado en la zona adyacente al tanque.

4.3 Competencias desarrolladas y/o aplicadas

Las competencias que se llevaron a cabo fueron las siguientes, en el área de oficina general realizar Dictámenes de Elementos Estructurales para evitar Riesgos de Trabajo, Dictámenes de Instalaciones Eléctricas para evitar Riesgos de Trabajo, Elaboración de Diagramas Unifilares, Elaboración y Actualización de planos de Instalaciones Eléctricas con Memoria de Cálculo. Y en el área de campo realizar Mediciones de la Red de puesta a Tierra, Mediciones de los niveles de Iluminación, Mediciones de los niveles de Ruido en los Centros de Trabajo y Diagnósticos Integrales o por Área de Trabajo de las condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo.

5. Referencias

- [1] Jaime Manolo Samayoa González, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Tesis en Maestro en Ingeniería, “Normativa para la instalación y operación de estaciones de servicio”, Julio 2007.
- [2] Rafael Daza Guzmán, Instituto Politécnico Nacional, México, Tesis en Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, “Diseño del Sistema de Puesta a Tierra de una estación de servicio”, Enero 2012.
- [3] Luis Alonso Basurto Martínez, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Tesis en Licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica, “Sistemas de Puesta a Tierra de una estación de servicio”, Enero 2008.
- [4] Víctor Jair Rodríguez García, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Tesis en Licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica, “Sistema de Tierras para equipo Eléctrico Electrónico”, Enero 2009.
- [5] Javier Oropeza Angeles, “Libro de Instalaciones Eléctricas Residenciales”, Editorial Schneider Electric México, 3ª edición, 2013.
- [6] Javier Oropeza Angeles, “Libro de oro de Puesta a Tierra Universal”, Editorial Schneider Electric México, 2ª edición, 2013.
- [7] Gregor Rojas, Manual de Sistemas de Puesta a Tierra, Editorial Gedisa, 1ª Edición, 2007.
- [8] NOM-001- SEDE-2012 de “instalaciones eléctricas”.
- [9] NOM-022-STPS-2015 de “electricidad estática en los centros de trabajo”.
- [10] NOM-005-ASEA-2016, “Diseño, construcción, operación y mantenimiento de Estaciones de Servicio para almacenamiento y expendio de diésel y gasolinas”.
- [11] M. Briceño, J. Mora (Julio, 2004). “Sistema de Puesta A Tierra y Protección contra Descargas Atmosféricas en Tanques de Almacenamiento de la Industria Petrolera”. Universidad del Zulia
- [12] Standard for Installation of Lightning Protection System, NFPA 780, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2004.
- [13] Protection against lightning Part 4: Electrical and electronic systems within structures, IEC-62305-4, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2004.
- [14] Protection against lightning Part 1: General principles, IEC-62305-1, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2003.

Equipo utilizado:

Medidor digital de tierras,
Marca kyoritsu
Modelo 4105a,
Número de serie e802332a



Equipo utilizado para medir continuidad:

Medidor digital de resistencia de aislamiento
Marca kyoritsu
Modelo: 3007a
Número de serie: e8003649



Equipo utilizado para medir humedad relativa:

Medidor de humedad relativa

Marca: sensirion

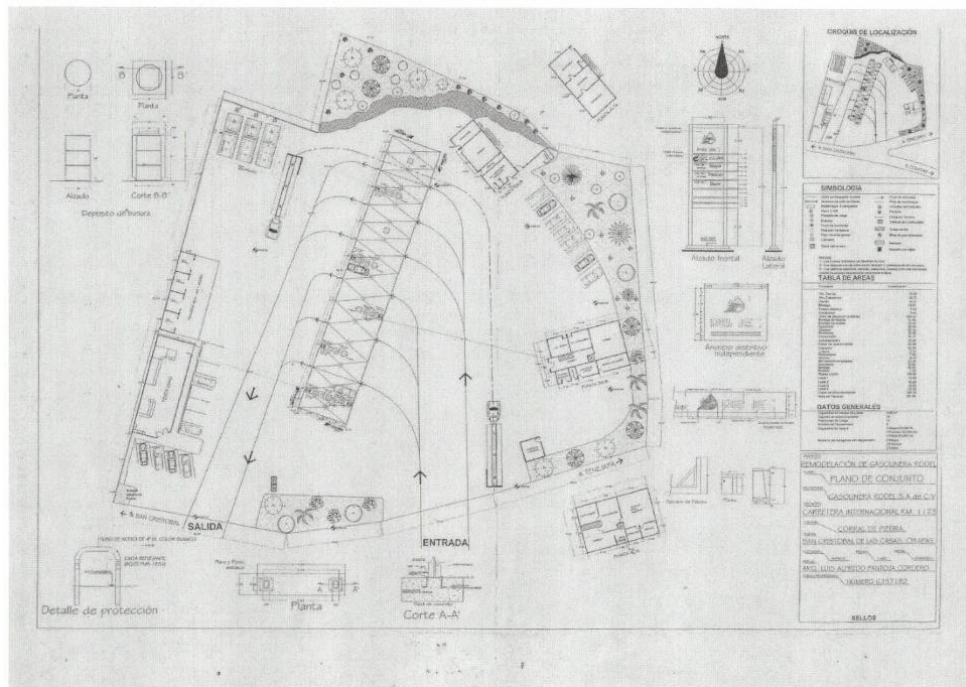
Modelo: s/no.

Número de serie: 73635-1



ANEXO B

Plano de la gasolinera Rodel S.A de C.V.



Medición de los electrodos de puesta a tierra de la Gasolinera Rodel S.A de C.V**Caracterización de la Gasolinera Rodel S.A de C.V**

La Gasolinera Rodel S.A de C.V se encuentra en la carretera internacional, km 1173 corral de piedra, C.P 29299, en la localidad de San Cristóbal de las Casas.



Fig. 3.1 Ubicación de la Gasolinera Rodel S.A de C.V



Fig. 3.2 Gasolinera Rodel S.A de C.V

Ubicación de los electrodos de puesta a tierra de la Gasolinera Rodel S.A de C.V

Los electrodos de puesta a tierra que serán objetos de estudio y medición están distribuidos de la siguiente manera.



Fig. 3.3 Ubicación de los electrodos de la Gasolinera Rodel S.A de C.V

Medición 1: Anuncio luminoso



Fig. 3.5 Medición del anuncio luminoso

Medición 2: Cuarto de control



Fig. 3.6 Medición del cuarto de control

Medición 3: Compresor

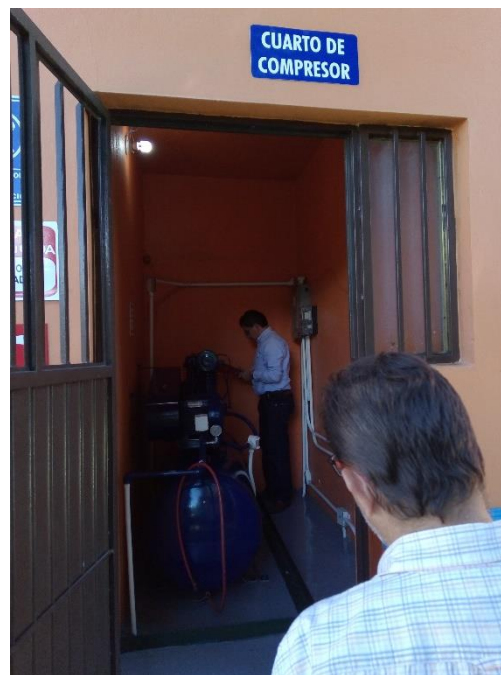


Fig. 3.7 Medición del compresor

Medición 4: Lámpara frente a compresor



Fig. 3.8 Medición de lámpara frente a compresor

Medición 5: Lámpara entrada de gasolinera



Fig. 3.9 Medición de lámpara entrada de gasolinera

Medición 6: Lámpara frente a baños



Fig. 3.10 Medición de lámpara frente a baños

Medición 7: Lámpara a un costado de tanques

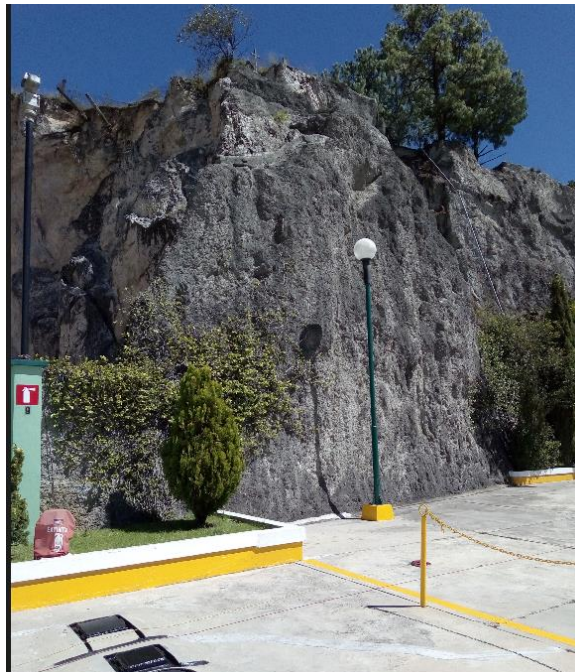


Fig. 3.11 Medición de lámpara a un costado de tanques

Medición 8: Lámpara de jardinera



Fig. 3.12 Medición de lámpara de jardinera

Medición 9: Tubo de venteo tanque de Diésel



Fig. 3.13 Medición del tubo de venteo tanque Diésel

Medición 10: Tubo de venteo tanque de Magna



Fig. 3.14 Medición del tubo de venteo tanque Magna

Medición 11: Tubo de venteo tanque de Premium



Fig. 3.15 Medición del tubo de venteo tanque Premium

Medición 12: Pararrayos



Fig. 3.16 Medición del Pararrayos

Medición 13: Acometida principal



Fig. 3.17 Medición de acometida principal

Medición 14: Descarga de Autotanques



Fig. 3.18 Medición de descarga de autotanques

Medición 15: Isla libre



Fig. 3.19 Medición de Isla libre

Medición 16: Dispensario 1-2



Fig.3.20 Medición del dispensario 1-2

Medición 17: Dispensario 3-4



Fig. 3.21 Medición del dispensario 3-4

Medición 18: Dispensario 5-6



Fig. 3.22 Medición del dispensario 5-6

Medición 19: Dispensario 7-8



Fig. 3.23 Medición del dispensario 7-8

Medición 20: Dispensario 9-10



Fig. 3.24 Medición del dispensario 9-10

Medición 21: Dispensario 11-12



Fig. 3.25 Medición del dispensario 11-12

Resultados

Punto de medición	Área	Valor medido	Resultado
1	Anuncio luminoso	3.2 Ohms	Cumple
2	Cuarto de control	0.3 Ohms	Cumple
3	Compresor	0.3 Ohms	Cumple
4	Lámpara 1	15 Ohms	Cumple
5	Lámpara 2	16 Ohms	Cumple
6	Lámpara 3	16 Ohms	Cumple
7	Lámpara 4	16 Ohms	Cumple
8	Lámpara 5	18 Ohms	Cumple
9	Tubo de Venteo Tanque Diésel	0.6 Ohms	Cumple
10	Tubo de Venteo Tanque Magna	0.2 Ohms	Cumple
11	Tubo de Venteo Tanque Premium	0.2 Ohms	Cumple
12	Pararrayos	3.2 Ohms	Cumple
13	Acometida principal	0.3 Ohms	Cumple
14	Descarga de Autotanques	3.2 Ohms	Cumple
15	Isla libre	3.3 Ohms	Cumple
16	Dispensario 1-2	1.5 Ohms	Cumple
17	Dispensario 3-4	1.5 Ohms	Cumple
18	Dispensario 5-6	3.7 Ohms	Cumple
19	Dispensario 7-8	3.6 Ohms	Cumple
20	Dispensario 9-10	1.8 Ohms	Cumple
21	Dispensario 11-12	4.9 Ohms	Cumple

Tabla Resumen de resultados de valores de Puesta a Tierra