

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INDUSTRIAS EMU S.A**

Andrés Felipe Ramírez Ramírez

Ingeniería Electromecánica

Juan Camilo Correa Chica

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**25/07/2018**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En la etapa de prácticas se observó que industrias emu S.A , una empresa dedicada a la fabricación de sulfatos para el sector agroindustrial, a pesar de llevar más de 40 años en el mercado carecía de un sistema de puesta a tierra en su planta de producción el cual pudiera garantizar seguridad para sus trabajadores y para sus equipos, por tal motivo se revisaron planos con el fin de verificar que sus transformadores estuvieran conectados a una puesta a tierra para luego poder repartir el sistema por la planta; al verificar que efectivamente si estaban conectados, se analizó cuáles eran los puntos críticos para darles prioridad ; se cotizaron, cuantificaron y calcularon los accesorios para la distribución a estos equipos . Por último, se realizó el montaje a una gran parte de la planta con las normas de seguridad en el trabajo en alturas, la norma ntc 2050 y el RETIE las cuales garantizaron seguridad y confiabilidad en el montaje, pues era indispensable que este proyecto cumpliera con las normas y estándares vigentes.

Como resultado obtuvimos un trabajo que cumple con la reglamentación eléctrica; los equipos conectados a tierra quedaron funcionales y sin corrientes parasitas y notamos que es importante distribuir en su totalidad el sistema de puesta a tierra en todos los equipos pues en estos momentos hay equipos que están generando descargas al personal y otros que se están deteriorando como lo son algunos variadores de velocidad que presentan fallas las cuales a largo plazo pueden ser peligrosas para los empleados y los motores que protegen.

*Palabras clave:* Sistema de puesta a tierra, seguridad eléctrica, normatividad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Quiero darle las gracias a industrias emu, ya que creyó en mis conocimientos y me permitió aplicarlos en su planta, también quiero agradecer al departamento de mantenimiento pues resolvieron algunas de mis inquietudes y me ayudaron a desarrollar gran parte del proyecto; y por ultimo quiero agradecer al ITM por haberme brindado el conocimiento necesario para desarrollar este tipo de proyectos que me permiten un crecimiento tanto personal como laboral y así poder ayudar a una empresa a cumplir con las normas y a unos empleados a que puedan trabajar sin poner en riesgo su integridad.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

SPT Sistema de puesta a tierra

RETIE Reglamento técnico de instalaciones eléctricas

NTC 2050 Norma técnica colombiana 2050 (Código eléctrico colombiano)

NTC 3458 Norma técnica colombiana 3458 (Identificación de tuberías y servicios)

NTC 2505 Norma técnica colombiana 2505 (Instalaciones para suministro de gas)

NTC 2076 Norma técnica colombiana 2076 (Galvanizado por inmersión en caliente)

ASTM American society for testing and materials

KVA kilovoltio amperios

V voltio

A Amperio

$\Omega$  Ohmio

$\rho$  Resistividad

RPT Resistencia de puesta a tierra

MT Media tensión

BT Baja tensión

Cm Centímetros

Km Kilometro

s segundo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	8
3. METODOLOGÍA.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	37
REFERENCIAS .....	39
APÉNDICE.....	40

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Industrias emu S.A es una organización industrial dedicada a producir y comercializar soluciones agroindustriales de excelente calidad tanto nacional como internacionalmente; actualmente cuenta con dos sedes principales la cuales son: industrias emu soledad (Atlántico) e industrias emu (Itagüí). Algunos de sus productos son: sulfato de cobre, sulfato ferroso, sulfato de zinc y óxido de zinc, los cuales sirven como complemento de alimentación para animales, purificación de agua, preparación de abono, uso de fertilizantes y pesticidas, entre otros; todos los procesos, materias primas y productos generan gran cantidad de partículas las cuales pueden agilizar la corrosión, el daño eléctrico y la vida útil de los equipos; por esta razón es de gran importancia que exista un departamento de mantenimiento calificado para mitigar todos los problemas anteriormente mencionados y generar fiabilidad a la hora de utilizar los equipos. En la planta de Itagüí, se está gestando un peligro inminente en sus trabajadores y equipos ya que actualmente esta sede de la empresa no posee una distribución del SPT en la planta y por ende está generando una condición insegura que puede causar una lesión grave e incluso la muerte de sus empleados, además de afectar el rendimiento y la vida útil de sus equipos. Como estudiante de ingeniería electromecánica estoy en capacidad de aportar mis conocimientos y de realizar un proyecto que erradique esta problemática.

El objetivo general de este trabajo es instalar un sistema de puesta a tierra en industrias emu el cual sea fiable, seguro y que cumpla con las especificaciones técnicas y reglamentos vigentes en Colombia.

Objetivos específicos:

- Reflejar los conocimientos, conceptos y técnicas adquiridas tanto en la institución universitaria como en la etapa de prácticas en la realización del proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Convencer a la empresa y al departamento de mantenimiento mediante mediciones, datos y evidencias del riesgo que existe en la planta al no tener un sistema de puesta a tierra para que centren su atención en la problemática.

-Diseñar el sistema de puesta a tierra ideal para situaciones específicas que hay en la empresa, como respetar zonas para logística de producto o presupuesto sin afectar la calidad del trabajo.

En el capítulo 2 presenta el marco teórico el cual guiará al lector para que comprenda cada uno de los conceptos y temas trascendentales para el correcto entendimiento de las pautas y decisiones tomadas al momento de la ejecución del trabajo. Puntualmente vamos a introducir conceptos y nociones relacionados con la electricidad, el riesgo que implica su manejo y los usos inadecuados que se le den, así como algunas de las posibles soluciones. Además, se responderá dos preguntas muy importantes las cuales son: ¿Cuánta corriente puede soportar el cuerpo humano? Y ¿Cuáles son sus efectos en el cuerpo? Pues estos datos sustentan la gran necesidad de la realización del proyecto.

El capítulo 3 llamado metodología, mostrara cual fue el paso a paso que se utilizó para la realización del proyecto para que este pudiera cumplir con los objetivos esperados; además se añade un diagrama de flujo para que el lector se le haga más amena la metodología utilizada y por qué se hizo en ese orden.

El capítulo número cuatro, resultados y discusión muestra todas las medidas que se tomaron para la obtención de datos fiables para el proyecto, también se muestran las tablas que se utilizaron para el cumplimiento de las normas técnicas que rigen el proyecto, además de ciertas decisiones y/u opiniones tomadas para una buena ejecución de este.

Por último, el capítulo número 5, conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros, veremos cómo fueron alcanzados cada uno de los objetivos y si hubo inconvenientes o

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

limitaciones en su realización, también que trabajos quedaron pendientes y que se puede mejorar para a futuro seguir con este proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

---

En este capítulo veremos las definiciones y argumentos base para el desarrollo de nuestro trabajo, pues es indispensable que el lector comprenda cada una de las definiciones y estudios realizados con anterioridad para entender cómo se comporta la corriente en un estado habitual de funcionamiento y por el contrario, a que riesgos está sometido el cuerpo humano y los equipos cuando esta no es empleada de la mejor manera; también se quiere mostrar cual es el umbral de corriente que es capaz de soportar el cuerpo dependiendo de la trayectoria de la corriente sobre este y cual es límite de soportabilidad de esta en rangos de tiempo.

### 2.1 Corriente eléctrica

#### 2.1.1 Definición

Se entiende por corriente eléctrica como la transmisión de energía, la cual se desplaza aproximadamente a razón de 300,000 Km/s, y debe existir necesariamente un circuito que permite este flujo constante de electrones, entre la fuente y una carga, donde la energía eléctrica se transforma en otras formas de energía. (Leiva, 1991, pág. 7).

Es importante conocer esta definición ya que, día a día vemos como nuestro entorno necesita varias formas de energía tales como: luz, calor y movimiento mecánico; todas necesarias para tener una mejor calidad de vida y generar trabajos de forma eficiente.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## **2.2 Riesgo eléctrico**

### **2.2.1 Definición**

Se entiende por riesgo como la probabilidad de que, en una actividad, se produzca una pérdida determinada en un tiempo dado; en el caso eléctrico existe riesgo eléctrico el cual es la posibilidad de circulación de una corriente eléctrica mortal a través de un ser vivo.

Según el RETIE una instalación eléctrica se considera de alto riesgo cuando carece de medidas de protección frente a condiciones donde compromete la salud o la vida de las personas, tales como: ausencia de la electricidad, arco eléctrico, contacto directo o indirecto con partes energizadas, rayos, sobretensiones, sobrecargas, cortocircuitos, tensiones de paso, contactos o transferidas que excedan límites permitidos. (RETIE, 2013, pág. 44).

### **2.2.2 Clases de riesgo eléctrico**

Existen muchos factores que generan riesgo eléctrico en todos los lugares; a continuación, se mostrarán los factores de riesgo más comunes según el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE, 2013, pág. 46):

Arco eléctrico: las posibles causas que generan los arcos eléctricos son los malos contactos, corto circuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seleccionadores con carga, apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ausencia de electricidad (en determinados casos): un apagón o corte de servicio, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia- UPS, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia; son algunas de las causas en las que se genera ausencia de electricidad.

Contacto directo: el contacto directo se debe a la negligencia de los técnicos o impericia de los no técnicos, también por la violación de las distancias mínimas de seguridad.

Contacto indirecto: unas de las posibles causas del contacto indirecto son las fallas de aislamiento, el mal mantenimiento y la falta de conductor de puesta a tierra.

Corto circuito: fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedales y equipos defectuosos son algunas de las causas por las que se generan los corto circuitos.

Electricidad estática: las posibles causas que generan la electricidad estática es la unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, solidos o gases con la presencia de un aislante.

Equipo defectuoso: estos equipos generan riesgo y son generados por el mal mantenimiento, una mala instalación, una mala instalación y un transporte inadecuado.

Rayos: cuando existe riesgo por daños, ocurre generalmente cuando existe fallas en el diseño, construcción, operación o mantenimiento ineficiente del sistema de protección.

Sobrecarga: superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumple con las normas técnicas, conexiones flojas y no controlar el factor de potencia son factores que pueden generar un riesgo de sobrecarga.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.2.3 ¿cómo reducir el riesgo eléctrico?

En la sección anterior se mencionaron los factores más comunes que generan riesgo; a continuación, se mostraran las posibles soluciones de cada una las cuales mitigan el riesgo, cabe recalcar que el riesgo siempre está presente, nunca se puede erradicar, pero si se trabaja como es debido y se siguen ciertos lineamientos es muy poco probable que ocurra un accidente.

Arco eléctrico: utilizar materiales envolventes resistentes en los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra rayos ultravioleta.

Ausencia de electricidad: disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de planta de emergencia con transferencia automática.

Contacto directo: establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilizando de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra y doble aislamiento.

Contacto indirecto: separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.

Cortocircuito: interruptores automáticos con dispositivo de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.

Electricidad estática: sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y pisos conductivos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Equipo defectuoso: mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas.

Rayos: pararrayos, bajantes, puesta a tierra, equipotencialización, topología de cableados. Además, suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.

Sobrecarga: uso de interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con corta circuitos, cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.

Tensión de contacto: puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

Tensión de paso: puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso y equipotencializar.

Como podemos ver, la mayoría de los riesgos están asociados a un personal con bajos conocimientos en el área de la electricidad y seguridad en el trabajo, malos cálculos, mala selección de cableado y protecciones, además de no seguir al pie de la letra las reglas y normas que rigen en los países. Como se vio en las posibles soluciones, la mayoría de los riesgos mencionados se pueden disminuir teniendo un buen sistema de puesta a tierra, por eso en este trabajo queremos enfatizar este punto pues en industrias emu existen la mayoría de los riesgos mencionados en un porcentaje muy alto por el simple hecho de no contar con un SPT que proteja a las personas y a los equipos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.3 Soportabilidad de la corriente y efectos en el cuerpo humano

Anteriormente vimos cuales eran las clases de riesgo a las que estaban expuestos los equipos y las personas a la hora de que hubiera una falla, además de sus posibles formas de mitigar dichos riesgos. Pero si por algún motivo una persona llegara a ser alcanzada por una corriente eléctrica, ¿Cuánto podría soportar?, ¿Qué efectos tendría la corriente en el cuerpo humano? En esta sección responderemos a estas dos preguntas.

Lo primero que se debe de saber, es que sí importa la vía que tome la corriente en el cuerpo humano, ya que todo el cuerpo no tiene la misma impedancia; se entiende como impedancia a la oposición que presenta un cuerpo al paso de la corriente, en otras palabras, cuando hablamos de impedancia estamos hablando de resistencia que se simboliza con la letra ( $\Omega$ ). Lo mencionado anteriormente quiere decir que, si por ejemplo, la trayectoria que coge la corriente al pasar por un individuo empieza por la mano izquierda y termina por el pie o ambos pies, tiene una consecuencia diferente a que si la trayectoria empieza por el pecho y termina en la mano izquierda. Siendo las dos corrientes iguales, cada trayectoria tiene un factor de corriente del corazón que, en sí, es la corriente que puede producir una fibrilación ventricular; la NTC 4120 nos muestra en la tabla 1, las trayectorias más comunes y los factores a los que está expuesto el corazón:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 1:**

Factor de corriente del corazón F para diferentes trayectorias de corriente

TRAYECTORIA DE LA CORRIENTE	FACTOR DE CORRIENTE DEL CORAZON F
Mano izquierda a pie izquierdo, al derecho o a ambos pies	1.0
Ambas manos a ambos pies	1.0
Mano izquierda a mano derecha	0.4
Mano derecha a pie izquierdo, al derecho o a ambos pies	0.8
Espalda a mano derecha	0.3
Espalda a mano izquierda	0.7
Pecho a mano derecha	1.3
Pecho a mano izquierda	1.5
Nalgas a manos	0.7

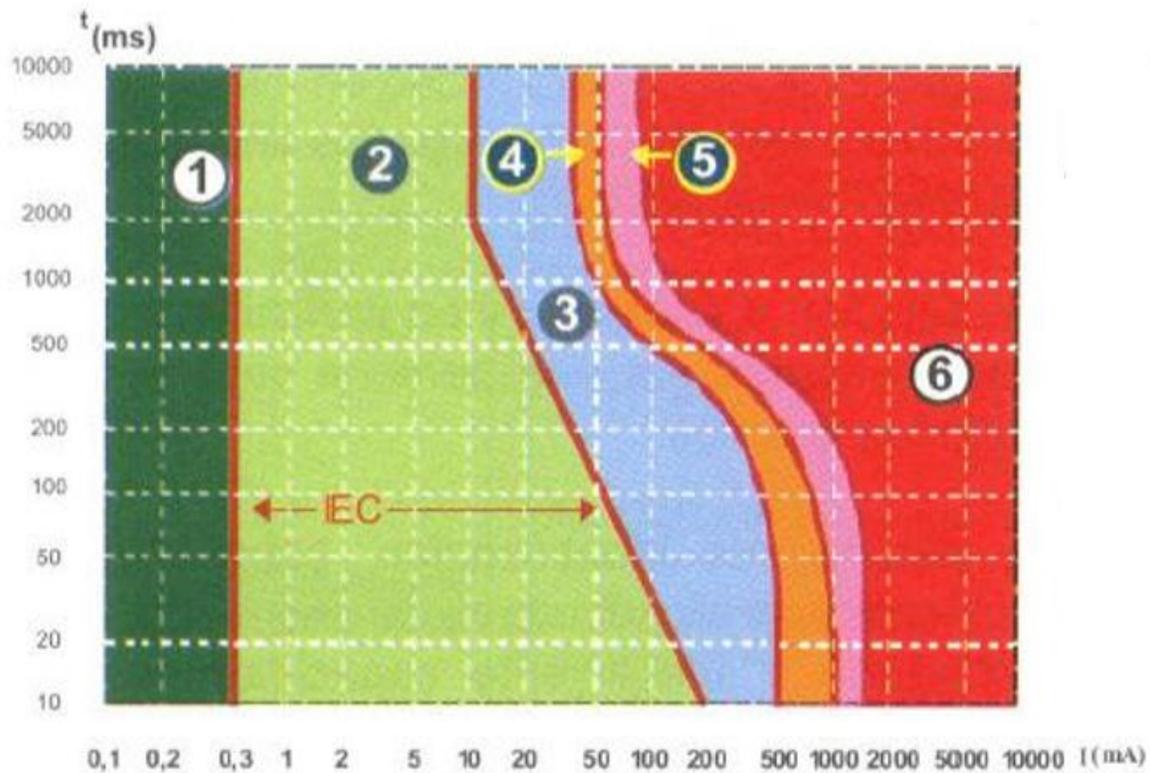
**Nota:** la tabla 1 es tomada de (NTC4120, 1997, pág. 24)

Como podemos observar, si por ejemplo un individuo es expuesto a una corriente de 30 miliamperios, corre un riesgo mayor si la trayectoria de la corriente empieza por el pecho y finaliza por la mano derecha que si la trayectoria empieza por la mano izquierda y finaliza en la mano derecha pues serán dos corrientes diferentes las cuales llegarán al corazón:

$$30 \times 1,3 = 39 \text{ miliamperios}$$

$$30 \times 0,4 = 12 \text{ miliamperios.}$$

Conociendo el factor de corriente del corazón podemos situarnos en la figura 1 de la NTC4120 para mirar las zonas de alto riesgo a las que está sometido un cuerpo a una corriente y tiempo determinados (NTC4120, 1997, pág. 21):



**Figura 1.** Zonas de alto riesgo

En el eje (x) podemos observar la cantidad de miliamperios a la que está sometido un cuerpo y en el eje (y) el tiempo en milisegundos al que está expuesto el cuerpo con la corriente; el plano nos muestra diferentes zonas enumeradas las cuales presentan diferentes síntomas y efectos en el cuerpo.

En la zona 1 usualmente no hay reacción; existe una ligera picazón al establecer e interrumpir la corriente.

En la zona 2 no existen efectos fisiológicos nocivos.

En la zona 3 no existe gran riesgo de daño orgánico, aunque el aumento en la magnitud de la corriente y el tiempo puede llegar a provocar perturbaciones reversibles de formación y conducción de impulsos en el corazón.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la zona 4,5 y 6 existe riesgo de fibrilación ventricular de 5%,50% y mayor del 50% respectivamente siendo la zona 6 más peligrosa pues además de fibrilación se pueden presentar para respiratorio y quemaduras severas.

Haciendo un análisis a las dos preguntas antes mencionadas, podemos decir que la cantidad de corriente que el cuerpo humano puede soportar varía dependiendo de la trayectoria, magnitud y tiempo a la que esté sometido un cuerpo a corriente; además que los efectos van desde una simple picazón hasta la muerte.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

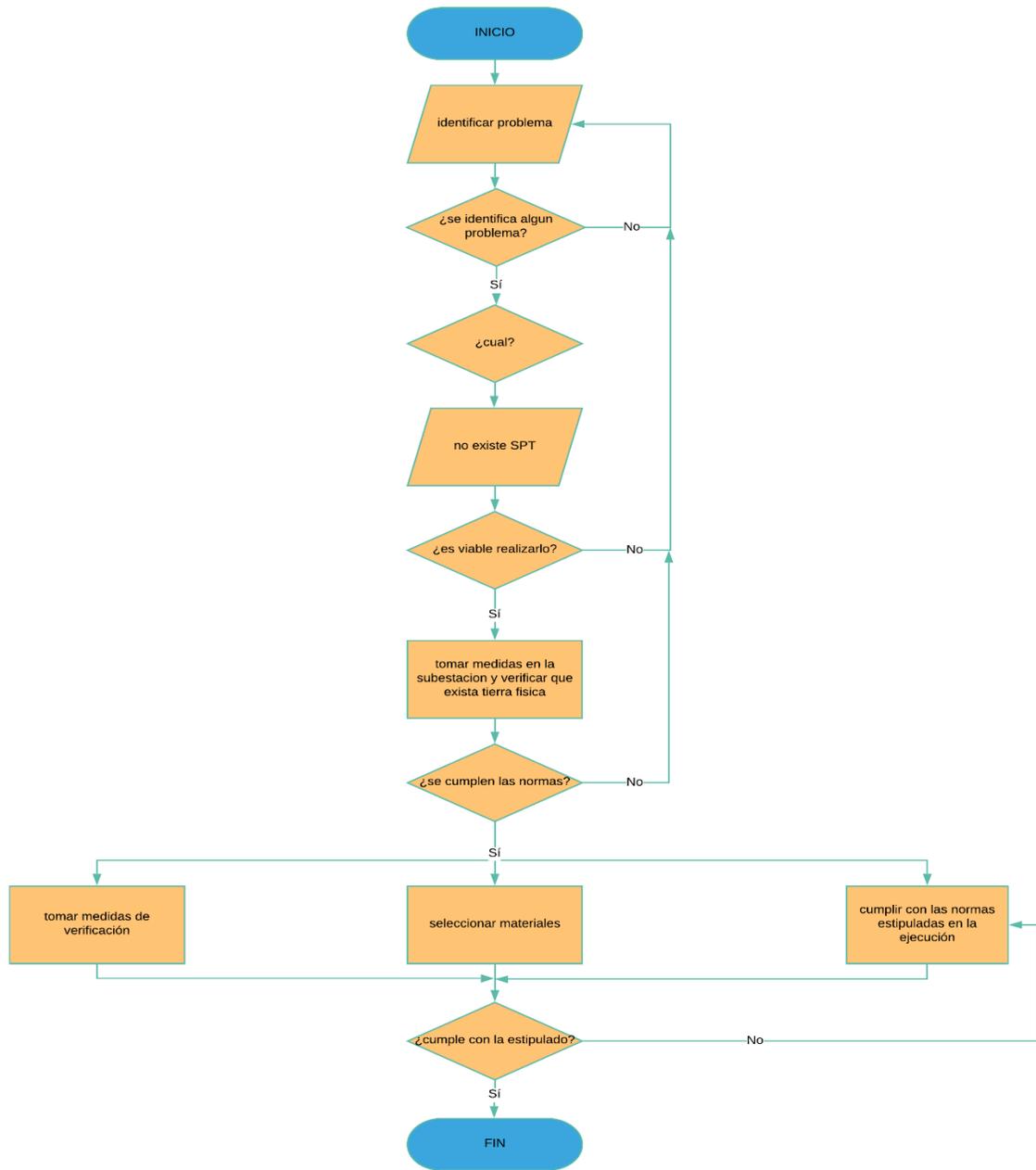
### 3 METODOLOGÍA

---

En este capítulo veremos la manera que se utilizó para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, antes de desarrollarlo, se tuvo que contemplar que tan viable era, pues si no se tenía por lo menos algunos factores a favor como por ejemplo tener los transformadores conectados entre sí en una malla o presupuesto para la realización de este, no se podía desarrollar y por ende se debía escoger otra falencia que tuviera la empresa y que se pudiera implementar en el tiempo estimado de las prácticas profesionales.

Por suerte los factores antes mencionados no fueron impedimento y se pudo transformar una idea en un trabajo siguiendo una serie de pasos que se irán mostrando en este capítulo.

A continuación, se ilustrará mediante la figura 2, cual fue la metodología utilizada para la realización de este proyecto:



**Figura 2.** Metodología utilizada para la realización del proyecto

Lo primero que se hizo fue identificar que problemas y deficiencias a nivel operativo existían en industrias emu para seleccionar alguna; el coordinador de mantenimiento sugirió estudiar sobre la tierra eléctrica ya que en dicha empresa ningún equipo estaba conectado a ésta.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es muy importante saber que una empresa, local u hogar que no tenga un SPT estructurado, puede generar una serie de riesgos tanto para las personas como para los equipos que estén conectados a la red eléctrica

Sabiendo la necesidad de implementar un SPT en la planta de producción, se analizaron los planos eléctricos, para determinar si en la subestación los transformadores estaban conectados a tierra para acceder a esta y así crear derivaciones con el fin de llevarlo a la planta; efectivamente los planos mostraron que existía una malla de SPT y que los dos transformadores que tiene la industria estaban equipotencializados.

Luego en el campo (subestación) se hizo una prueba que consiste en medir continuidad entra la tierra del transformador de 30 KVA y el de 150 KVA con el fin de determinar si estos estaban unidos entre sí, la cual confirmo que efectivamente era un solo nodo. Conociendo la anterior se analizó que componentes tenía el tablero principal de la empresa y en él se encontró un cable desnudo el cual parecía ser la tierra y para verificar esto se midió continuidad entre este y la tierra de los transformadores, como resultado se obtuvo que se trataba de una tierra.

Teniendo las mediciones previamente mencionadas estas fueron entregadas al coordinador de mantenimiento para que el planteara la necesidad de tener un SPT con la empresa con el fin de que tomaran en consideración la realización del proyecto. El proyecto fue aprobado en cierto modo, pues la respuesta por parte de la empresa fue entregar un pequeño presupuesto a mantenimiento para que empezará con la realización del trabajo y poco a poco ir avanzando con el SPT para que a mediano plazo (2 años aproximadamente), todos los equipos de la empresa estén conectados a tierra.

Sabiendo que el proyecto era viable se analizó a que equipos de la empresa se le debía dar prioridad para empezar con estos, ya que como mencionamos anteriormente el presupuesto inicial apenas podía abarcar un pequeño tramo de la planta; los equipos que se escogieron fueron los siguientes:

- Compresor 30Hp
- Tren de gas horno #1

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Tren de gas horno #2
- Tren de gas horno #3
- Tren de gas refinador
- Taller de mantenimiento.
- Rack del centro de datos

Se le dio prioridad a los elementos mencionados debido a que el compresor fue una nueva adquisición el cual tuvo un costo considerable y si este no estaba conectado a un SPT los proveedores no podían cubrir su garantía, además de ser un equipo de origen chino cuyos repuestos son difíciles de conseguir; por otro lado los trenes de gas generan un alto riesgo ya que estos pueden generar una explosión si existe una chispa o un corto cerca de ellos; además la empresa para este año se debe certificarse en la norma NTC 2505 la cual tiene ciertos parámetros a cumplir, uno de ellos es que toda instalación de gas tiene que tener un SPT. Es fundamental que el taller de mantenimiento esté conectado al SPT ya que en este lugar es donde son ensamblados y ensayados todos los equipos que llegan a la compañía y por ende es el lugar donde hay más riesgo eléctrico hacia los equipos y el personal; por último, el rack es muy sensible a corrientes de fuga los cuales pueden alterar el correcto funcionamiento de los quipos del centro de datos.

El montaje fue realizado bajo una serie de normas que garantizan confiabilidad y seguridad en este; las normas utilizadas son las siguientes:

- NTC 2050
- NTC2505
- NTC4120
- RETIE
- NEMA V2
- ASMT A123

En lo personal, pienso que se siguió un buen lineamiento a la hora de desarrollar el proyecto pues en todo momento se tuvo presente la normatividad que actualmente rige las

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

instalaciones eléctricas en Colombia, Solucionando problemas como limitaciones en el presupuesto e instalación de bandejas en lugares con tránsito de producto.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En este capítulo se mostrarán cada una de las mediciones, tablas y lineamientos que se siguieron para el correcto desarrollo del trabajo, así como las decisiones que se tomaron a la hora de la ejecución que garantizaban el cumplimiento de las normas, dando así los resultados esperados previamente definidos en los objetivos de este proyecto.

### 4.1 Mediciones

Se hicieron mediciones en el tablero de la subestación con el fin de determina si existía un sistema de puesta a tierra efectivo en caso de ser requerido y se tuvieron los siguientes datos.

**Tabla 2:**

Medida de voltajes en el tablero principal

<b>MEDIDA DE VOLTAJES EN EL TABLERO PRINCIPAL</b>		
<b>CONDUCTOR 1</b>	<b>CONDUCTOR 2</b>	<b>VALOR (V)</b>
Neutro	R	268.5
Neutro	S	267
Neutro	T	268
Tierra	R	267.8
Tierra	S	267.8
Tierra	T	267.8
Neutro	Tierra	0.34
Neutro-Tierra	R	268

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Neutro-Tierra	S	267.3
Neutro-Tierra	T	267.8

Según el NTC 2050 la definición de equipotencialidad es un principio que debe ser aplicado ampliamente en SPT, Indica que todos los puntos deben de estar aproximadamente al mismo potencial (NTC2050, 1998, pág. 33). Lo mencionado anteriormente quiere decir que si el voltaje entre el neutro y la tierra nos diera un valor de (0 V) estos dos conductores estarían en el mismo potencial; claro está que hay tolerancias las cuales se pueden admitir; en este caso, si el voltaje que existe entre el neutro y la tierra es inferior a (1V) se puede concluir que la tierra que se tiene es buena.

Los valores tomados mediante un multímetro en el gabinete principal de la subestación en caso de certificaciones o cumplimiento de normatividad no representan pruebas admisibles para los organismos que avalan las normas, pero da un indicio de cómo se encuentra el STP de la empresa.

Anteriormente se dijo que industrias emu S.A debía certificase en la norma NTC 2505 y para esto contrató una empresa especializada para la certificación de dicha norma llamada Estudios y Energía Ltda. La cual tomo algunas mediciones con un telurómetro certificado y entrego un informe del trabajo realizado.

A continuación, se mostrará los datos obtenidos por la empresa Estudios y Energía Ltda.

**Tabla 3:**

Registro de tensiones en alimentación de red de gas

<b>REGISTRO DE TENSIONES EN ALIMENTACION DE RED DE GAS</b>		
<b>CONDUCTOR 1</b>	<b>CONDUCTOR 2</b>	<b>VALOR (V)</b>
Línea	Neutro	124.8
Neutro	Tierra	0.988
Línea	Tierra	124.0



**Figura 3.** Registro fotográfico de tensiones L-N, N-T, L-T

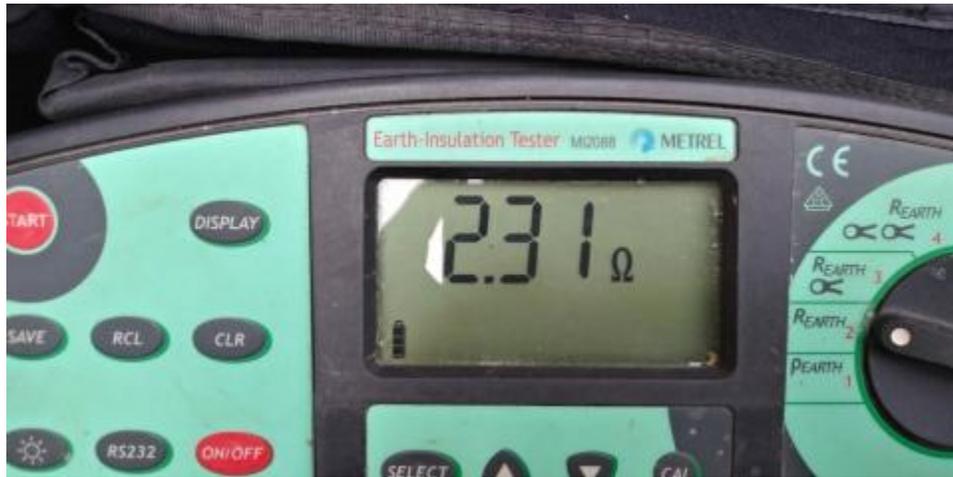
Como podemos observar el voltaje entre neutro y tierra nos da un valor inferior a (1V).

**Tabla 4:**

Medidas de RPT en ejes

RESISTENCIA PUESTA A TIERRA (RPT)	VALOR ( $\Omega$ )
RPT EJE SUR	2.31
RPT EJE OCCIDENTE	4.45
RPT EJE NORTE	N/A

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 4.** Registro fotográfico valor RPT eje sur



**Figura 5.** Registro fotográfico del valor RPT eje occidente

La medida de RPT en el eje norte no se pudo tomar debido a la alta resistencia ofrecida por el suelo artificial adoquinado de concreto ya que este género discontinuidad en el suelo para la medida de la RPT; lo anteriormente mencionado no ocasiona ningún problema en la ejecución del proyecto ya que, los valores obtenidos en los demás ejes son suficientes para soportar el desarrollo del proyecto.

Gracias a los datos obtenidos por la empresa Estudios y Energía Ltda. Se pudo determinar que el valor máximo tomado de RPT que nos entregó un valor de (4.45Ω) está dentro del rango permitido, pues según RETIE, un buen diseño de puesta a tierra debe garantizar el

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas (RETIE, 2013, pág. 70). En relación con que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial, pueden tomarse como referencia los valores máximos de la tabla 5:

**Tabla 5:**

Valores de referencia para RPT

APLICACIÓN	VALORES MAXIMOS DE RPT
Estructuras de líneas o redes	20 $\Omega$
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 $\Omega$
Subestaciones de MT	10 $\Omega$
Protección contra rayos	10 $\Omega$
Punto neutro de acometida en BT	25 $\Omega$
Redes de equipos electrónicos o sensibles	10 $\Omega$

**Nota:** tabla tomada de (RETIE, 2013, pág. 70)

Como podemos observar la tabla 5 del RETIE nos muestra que para subestaciones de media tensión tenemos un valor de RPT máximo de (10  $\Omega$ ) y que para punto neutro de acometidas en baja tensión tenemos un valor RPT máximo de (25  $\Omega$ ). Se hace alusión a estos dos valores ya que por un lado (25  $\Omega$ ) es el valor que permite la norma para el SPT de la red de gas y equipos que estén conectados a neutro; y por otro lado (10  $\Omega$ ) en el valor máximo que permite la norma para que estén conectados el transformador de la empresa y los equipos trifásicos conectados a él; cabe recalcar que según RETIE media tensión tiene rangos entre 1000V Y 57500 V (RETIE, 2013, pág. 55); para este caso el transformador que tiene la empresa es de media tensión pues por el lado de alta se tiene 13200V y por el lado de baja 440-257(V).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.2 Zonas con SPT

Estando seguro de que efectivamente se cuenta con una tierra en la subestación, se procedió a tirar una acometida hacia una caja de paso para que de esta derivase tierra para el compresor y el taller de mantenimiento; el problema estaba en que cerca de la subestación está el lugar de almacenamiento de producto ya terminado lo que impide hacer una distribución eléctrica; lo que se tuvo que hacer fue enviar la tierra por bandeja semi pesada marca Mecano. Una gran ventaja que permite este tipo de bandeja es una fácil instalación y un bajo peso; la unidad de bandeja la venden por 2.4 metros y su precio es relativamente bajo; la desventaja de usar este tipo de bandeja es que es un poco maleable y propensa a deformarse si esta recibe impactos. se necesitaron varios accesorios como perfiles mecano, terminales, cajas de paso, etc.

Algo muy importante a mencionar fue el tipo y calibre del cable utilizado para la acometida del SPT pues es algo que se debe dimensionar sabiendo la corriente nominal de los equipos que van a estar conectados a esta.

A continuación, se mostrará la corriente nominal de los equipos o zonas que se conectaron a tierra:

**Tabla 6:**

Zonas prioritarias y corriente necesaria para SPT

ZONAS	CORRIENTE(A)
Compresor 30 HP	40
Compresor 12HP	15
Taller mantenimiento	50
Tren de gas horno 1	20
Tren de gas horno 2	20
Tren de gas horno 3	20
Tren de gas refinador	20
<b>TOTAL, CORRIENTE</b>	<b>185</b>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se puede observar en la tabla la corriente total que el SPT debería liberar si llegara a ocurrir alguna descarga es de unos (185A); sabiendo esto se recurrió a RETIE y NTC2050 para determinar el tipo de cable y su calibre:

**Tabla 7:**

Código de colores para conductores de corriente alterna

Sistema c.a.	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ	3ΦY
<b>Tensión nominal (voltios)</b>	120	240/120	208/120	240	240/208 / 120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
<b>Conductor activo</b>	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
<b>Fase</b>	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo o Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo o Violeta Rojo
<b>Neutro</b>	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
<b>Tierra de protección</b>	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
<b>Tierra aislada</b>	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	No aplica	Verde o Verde/amarillo	Verde o Verde/amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

**Nota:** tabla tomada de (RETIE, 2013, pág. 38)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Tabla 8:**

Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de los equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

CORRIENTE NOMINAL DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE EN LOS CIRCUITOS.	SECCION TRANSVERAL			
	ALAMBRE DE COBRE		ALAMBRE DE ALUMINIO	
	<i>mm<sup>2</sup></i>	AWG	<i>mm<sup>2</sup></i>	AWG
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1000	67,44	2/0	107,21	4/0
1200	85,02	3/0	126,67	250Kcmil
1600	127,21	4/0	177,34	350 Kcmil
2000	126,67	250 Kcmil	202,68	400 Kcmil
2500	177,34	350 Kcmil	304,02	600 Kcmil
3000	202,68	400 Kcmil	304,02	600 Kcmil
4000	253,25	500 Kcmil	405,36	800 Kcmil
5000	354,69	700 Kcmil	608,04	1200 Kcmil
6000	405,36	800 Kcmil	608,04	1200 Kcmil

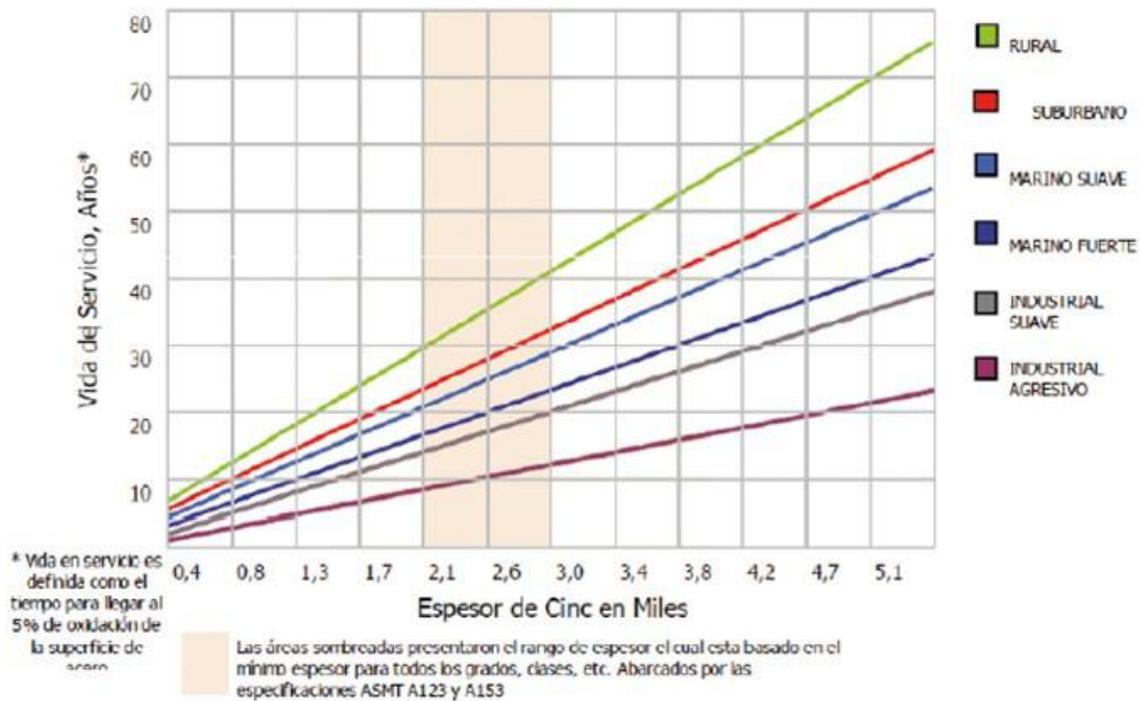
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Nota:** tabla tomada de (NTC2050, 1998, pág. 123)

Como se puede observar la tabla 7 nos dice que el conductor tierra de protección puede ir desnudo o de color verde; en industria emu se optó por cable desnudo y se escogió un cable numero 4 AWG en cobre pues según la tabla 8 este nos aguanta una corriente nominal de (300A) muy por encima de los (185A); se escogió el cable calibre 4 y no el calibre 6 pues este último nos aguanta una corriente nominal de (200A) la cual está muy cercana a la corriente que se necesita.

Teniendo ya lo necesario para ejecutar el proyecto se procedió a la instalación de la bandeja y la acometida del SPT.

El tipo de bandeja que se utilizo fue una bandeja tipo semi-pesada marca mecano galvanizada en caliente; esta bandeja debe de ser galvanizada pues es un tratamiento que se le hace al material para recubrirlo con zinc en el exterior y prevenir oxidación en la bandeja; una bandeja sin galvanizar tiene una vida útil de aproximadamente 2 años, mientras que una bandeja galvanizada en caliente garantiza mínimo una vida útil de 10 años sin corrosión. A continuación, se mostrará una representación gráfica de cómo influye la zona donde será instalada las bandejas galvanizadas:



**Figura 6.** Tipo de vida de bandejas

Aquí en industrias emu, se trabaja con varios sulfatos que al estar en contacto con metales agiliza la corrosión de estos; sabiendo esto algunos sectores de la planta están en zona industrial agresiva y otros sectores en zona suave. Según el catálogo de mecano sus bandejas galvanizadas en caliente cumplen con las normas NTC 2076 y la ASTM A123 por lo que se observó la norma ASTM A123 para determinar el tiempo de vida de servicio de la bandeja instalada. A continuación, se veremos algunas tablas de la A123:

**Tabla 9:**

Clase de espesor de revestimiento promedio mínimo por categoría de material

CATEGORIA DE MATERIAL	MARGEN DE ESPESOR DELACERO (MEDIDO) PULGADAS (mm)				
	<1/16(<1,6)	1/16 a <1/8 (1,6 a <3,2)	1/8 a 3/16 (3,2 a 4,8)	>3/16 a <1/4 (>4,8 a <6,4)	≥1/4 (≥6,4)
Perfiles y placas	45	65	75	85	100

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estructuras y flejes	45	65	75	85	100
Cañería y tubería	45	45	75	75	75
Alambre	45	50	60	65	80

**Nota:** tabla tomada de (A123, 2000, pág. 6)

En esta tabla podemos observar la categoría del material y la clase del espesor dependiendo del espesor del material; en industrias emu se utilizaron bandejas que son de categoría perfiles cuyo espesor es de 2.25 mm; según la tabla podemos observar que 2.25 mm está dentro del rango de 1,6mm a 3,2 mm lo que nos indica que nuestra clase de revestimiento es 65; teniendo este valor nos vamos a la siguiente tabla (A123, 2000, pág. 8):

**Tabla 10:**

Clase de espesor de revestimiento

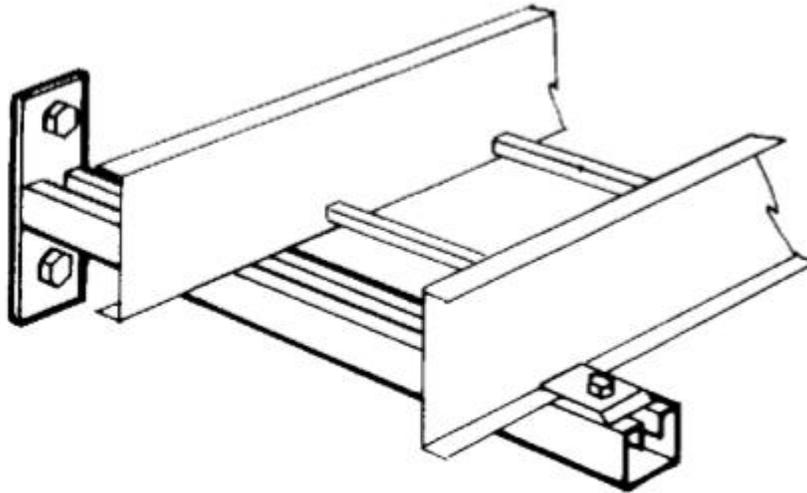
<b>CLASE DE ESPESOR DE REVESTIMIENTO</b>				
<b>Revestimiento</b>	<b>Mili pulgadas</b>	<b>Onza/pie<sup>2</sup></b>	<b>µm</b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>
35	1.4	0.8	35	245
45	1.8	1.0	45	320
50	2.0	1.2	50	355
55	2.2	1.3	55	390
60	2.4	1.4	60	435
65	2.6	1.5	65	460
75	3.0	1.7	75	530
80	3.1	1.9	80	565
85	3.3	2.0	85	600
100	3.9	2.3	100	705

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Nota:** tabla tomada de (A123, 2000, pág. 6)

En la tabla 10 de la norma ASTM podemos observar que la clase de revestimiento 65 nos arroja una clase de espesor de revestimiento de 2.6 mili pulgadas; teniendo estos datos y sabiendo que la parte a la que se le instalo la bandeja es zona industrial suave podemos determinar que gracias al galvanizado las bandejas tengan una vida de servicio no menor a 28 años.

La instalación de la bandeja se hizo siguiendo la norma NEMA VE2 la cual dice que se deben de asegurar las bandejas en los soportes y se debe de asegurar nivelación y alineación entre bandejas (VE2, 2006, pág. 11); además mecano sugiere que el soporte mecano debe de sobresalir por lo menos 5 cm más que la bandeja.



**Figura 7.** Montaje bandeja según (VE2, 2006, pág. 11)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 8.** Montaje real

Para cumplir con la norma se nivelaron entre si los soportes mecano para luego ensamblar las bandejas y montarlas encima de los soportes mirando que estas estuvieran alineadas con las vigas, por último, al tener nivel y alineación se utilizaron pisa bandejas con el fin de que no hubiera desplazamiento en el montaje. A continuación, se muestra como quedó la bandeja con su respectivo soporte y pisa bandeja:



a). Alineación vertical

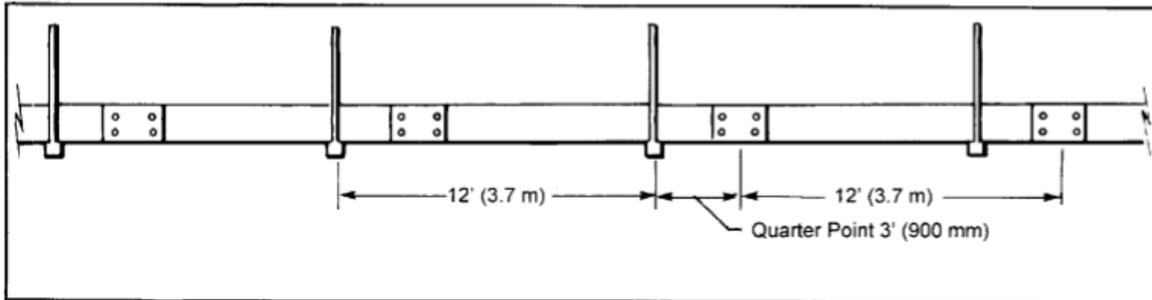
b). Alineación horizontal

**Figura 9.** Alineación de bandeja



**Figura 10.** Soporte de bandeja con pisa bandeja

Según la norma NEMA, la distancia entre un soporte y otro no debe superar una distancia de 3.7 metros y las uniones entre bandeja y bandeja deben de quedar al menos a 0.9 metros del soporte para generar mayor rigidez. (VE2, 2006, pág. 14)



**Figura 11** Distancia entre soportes según (VE2, 2006, pág. 14)



**Figura 12.** Montaje distancia entre soportes real

Para sujetar el cable, la norma NEMA nos dice que en tramos verticales se debe sujetar el cable con amarraderas cada 18 pulgadas y que aunque en los tramos horizontales no sea obligatorio, se sugiere utilizar amarraderas con el fin de mantener el espaciado, evitar el movimiento debido a una fuerza magnética de corriente de falla y asegurar el cable para que quede confinado dentro del área de la bandeja. (VE2, 2006, pág. 40).

Por último, se utilizaron cajas de paso marca Tercol que según norma NEMA son cajas tipo 4. A continuación, se muestran los tipos que existen y sus usos:

**Tabla 11:**

Tipo de caja

CONDICION DE PROTECCION	1	2	4	4X	5	6	6P	12K	13
Basura que cae	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Líquidos y salpicaduras ligeras	---	X	X	X	X	X	X	X	X
Polvo, pelusa, fibras y partículas	---	---	X	X	X	X	X	X	X
Asentamiento de polvo llevado por el aire	---	---	X	X	X	X	X	X	X
Riesgo y salpicadura de agua	---	---	X	X	---	X	X	---	---
Filtración de aceite y refrigerante	---	---	---	---	---	---	---	X	X
Aspersión y salpicadura de aceite	---	---	---	---	---	---	---	---	X
Agentes corrosivos	---	---	---	X	---	---	X	---	---
Inmersión ocasional temporal	---	---	---	---	---	X	X	---	---
Inmersión prolongada ocasional	---	---	---	---	---	---	X	---	---

**Nota:** Tabla tomada de (NEMA250, 2003, pág. 4)

Cabe decir que la caja de paso instalada en industrias emu está fuera del rango de agentes corrosivos, por lo que se optó utilizar envoltente tipo 4; si más adelante se desea instalar cajas de paso al interior de la planta esta deberán ser tipo 4x debido a que estas están protegidas contra agentes corrosivos.



**Figura 13.** Caja de paso tipo 4

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1 Conclusiones

- En este trabajo se instaló un sistema de puesta a tierra en industrias emu que abarca aproximadamente el 30 % de la empresa el cual cumple con todas las normas y reglamentos vigentes en Colombia.

-Gracias a la realización de este trabajo se minimizo el riesgo que actualmente se encuentra en la empresa debido a los equipos que carecen de SPT.

-Se vieron reflejados los conocimientos adquiridos tanto en la institución universitaria como en la etapa de prácticas en la realización de este trabajo.

-Con los estudios y trabajos realizados, industrias emu admitió que debe mejorar en SPT de sus instalaciones y decidió invertir en este trabajo y en sus posibles mejoras.

-En la instalación del SPT se respetaron zonas de la planta las cuales son utilizadas para el almacenamiento, el transporte de materia prima y producto terminado.

### 5.2 Recomendaciones

Cabe mencionar que, según el RETIE, un SPT se le tiene que realizar un mantenimiento preventivo programado cada año y cada cinco años respectivamente para que se pueda garantizar fiabilidad y seguridad en el caso de ser necesitado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por otro lado, se recomienda por lo menos cada 6 meses realizar limpieza de las canaletas y cajas con el fin de observar su estado para así lograr que estas duren lo esperado; además de que a la hora de manejar el montacarga para la logística del producto tener cuidado con no golpear la acometida pues estas canaletas no resisten grandes impactos.

### **5.3 Trabajo futuro**

Como ya sabemos, el SPT realizado en industrias emu solo abarca el 30% de la compañía debido a que se les dio prioridad a zonas con alto riesgo de personal y de equipos, además de no tener el suficiente presupuesto y tiempo en dicho momento para la realización de este. Industrias emu está consciente del riesgo que se corre y entre sus futuros proyectos tienen en lista la culminación de este proyecto; se espera que en un tiempo no mayor a 2 años el proyecto este culminado.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

-A123, A. (2000). *especificaciones para revestimiento de zinc.*

Leiva, I. f. (1991). *Teoría y tecnología fundamentales.* Santa fé de bogotá, Colombia: Schneider de colombia S.A.

NEMA250. (2003). *Enclosure types.*

NTC2050. (1998). *código eléctrico colombiano.*

NTC4120. (1997). *efecto de la corriente sobre los seres humanos.*

RETIE. (2013). *reglamento técnico de instalaciones eléctricas.*

VE2, N. (2006). *cable try installation guidelines.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## APÉNDICE

---

Los apéndices deben ser nombrados con letras para diferenciarse unos de otros (p. ej.: Apéndice A, Apéndice B, etc.). Estos hacen extensiva la información del contenido del trabajo realizado tales como cálculos matemáticos extensos, códigos de programación, etc. El contenido de los apéndices debe permitir a alguien externo al desarrollo del trabajo, llegar a los mismos resultados siguiendo la misma metodología complementada con la información que en este aparte reposa.

FIRMA ESTUDIANTES Andrés R.

FIRMA ASESOR [Handwritten Signature]

FECHA ENTREGA: 24/07/2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_