



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA
FÁBRICA INPLASTICO”.

Autor:

Cabezas Mayorga Klever Santiago

Tutor:

MSc. Pesántez Palacios Gabriel Napoleón

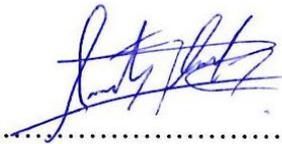
LATACUNGA - ECUADOR

AGOSTO – 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Klever Santiago Cabezas Mayorga, declaro ser autor del presente proyecto de investigación; **“DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO.”**, siendo el Ing. Msc. Gabriel Napoleón Pesántez Palacios tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigación son de exclusiva responsabilidad.



.....
Klever Santiago Cabezas Mayorga

C.I.:060409327-8



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO”, Cabezas Mayorga Klever Santiago, de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científicos-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio de 2018

TUTOR:



.....

Msc. Ing Gabriel Pesántez.

C.I.:030189388-9

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA) ; por cuanto, el postulante: **Klever Santiago Cabezas Mayorga**, con el título de Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio de 2018

Para constancia firman



Lector 1.

MSc. Marco León

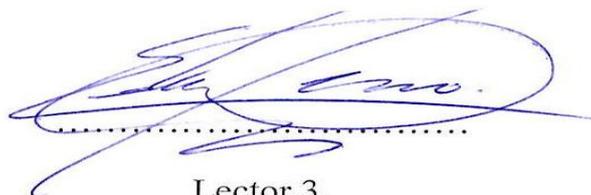
C.I 050230540-2



Lector 2.

Ph. D. Iliana González

C.I 175707065-9



Lector 3.

MSc. Edwin Lema

C.I 030226435-1



AVAL DE LA EMPRESA



Latacunga 1 de agosto del 2018

CERTIFICADO

El motivo de esta carta es informarle de la culminación de proyecto de tesis: "DISEÑO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN GALPON 1 EN LA EMPRESA INPLASTICO" del alumno **KLEVER SANTIAGO CABEZAS MAYORGA** con cedula número: 0604093278; de la Carrera de INGENIERIA ELECTRICA.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente


FIRMA AUTORIZADA

Inés Naranjo
Jefe de Talento Humano

AGRADECIMIENTO

Eternamente agradezco a mi ángel de la guarda, mi madre, por guiarme a cada paso manteniéndome siempre en el camino correcto, porque aunque su presencia física no esté a cada instante la siento viva muy adentro de mi corazón.

SANTIAGO

DEDICATORIA

A toda mi familia sin excepción en especial a mis hermanas Belén y Carolina las amo con todo el corazón pues han sabido sobreponerse a las adversidades y me han apoyado incondicionalmente

A mi padre Klever y a mi hermano Roger por confiar tanto en mí, poniéndome como un ejemplo a seguir.

A mis tíos Remigio y Ligia que sin su apoyo no estaría consiguiendo esta meta.

Y finalmente a Tamara quien con tanta paciencia ha hecho que mi vida tome directrices correctas llenas de felicidad junto a ella.

SANTIAGO

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE LA EMPRESA	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ACRÓNIMOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCION.....	xviii
1 PROYECTO DE TITULACIÓN	1
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	5
4.1 Directamente	5
4.2 Indirectamente	5
5 EL PROBLEMA	5
6 OBJETIVOS	6
6.1 General.....	6
6.2 Específicos	6

7	ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	8
8.1	Antecedentes de la investigación.....	8
8.2	Puesta a tierra.....	9
8.2.1	Concepto de puesta a tierra.....	9
8.2.2	Área de construcción de una malla de puesta a tierra.....	10
8.2.3	Misión de la puesta a tierra.....	10
8.2.4	Partes que intervienen en una puesta a tierra.....	10
8.3	Materiales utilizados en la puesta a tierra.....	12
8.3.1	Toma de tierra.....	12
8.3.2	Electrodos.....	13
8.3.3	Borne principal de tierra.....	15
	Conductor de protección.....	15
8.4	Resistividad de un material.....	16
8.5	Resistividad del terreno.....	16
8.6	Soldadura exotérmica.....	18
8.6.1	¿Qué es una reacción exotérmica?.....	18
8.6.2	Normativas para soldaduras exotérmicas.....	18
8.7	Métodos de medición.....	19
8.7.1	Método Wenner.....	19
8.7.2	Método de 3 puntas.....	19
8.7.3	Método de Caída de Potencial.....	20
8.7.4	La regla 62%.....	20
8.8	Sobre corrientes.....	21
8.8.1	Corrientes de cortocircuito máxima y mínimas.....	22

8.8.2	Tensiones de paso.....	25
8.8.3	Tensión de contacto.....	26
8.8.4	Sobre corrientes en pararrayos.....	28
9	HIPÓTESIS.....	30
10	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
10.1	Metodología y tipo de investigación utilizada.....	30
10.1.1.	Investigación Bibliográfica.....	30
10.1.1	Método de Investigación de Campo.....	30
10.1.2	Método Descriptivo.....	31
10.1.3	Método de medición.....	31
10.1.4	Método inductivo.....	31
10.1.5	Investigación Correlacional.....	32
11	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	33
11.1	Antecedentes de la empresa.....	33
11.2	Ubicación de la Fábrica Inplastico.....	33
11.3	Distribución de la maquinaria en el nuevo galpón.....	34
11.4	Distribución de tableros de medición y protección.....	41
11.5	Selección del transformador.....	44
11.6	Corrientes nominales de acuerdo a las máquinas en estudio.....	44
11.7	Corrientes máximas de acuerdo a las máquinas en estudio.....	45
11.8	Cálculo de conductores y termo-magnéticos.....	46
11.9	Cálculo del sistema de puesta a tierra para el nuevo galpón de la fábrica Inplastico. 48	
11.10	Corriente de cortocircuito máxima en el nuevo galpón.....	48
11.11	Sección mínima del conductor para puesta tierra.....	53
11.11.1	Cálculo mediante tabla de Excel ELEPCO.....	54

11.12	Resistividad que presenta el suelo de la fábrica Inplastico.	55
11.12.1	Resistencia mínima de puesta a tierra.	56
11.12.2	Resistencia de una varilla de cooperweld.	56
11.12.3	Resistividad del terreno utilizando una varilla de cooperweld enterrada en el suelo de la fábrica INPLASTICO.....	57
11.13	Cálculo de Resistencia de un sistema del puesta a tierra.	57
11.13.1	Método IEEE 80	58
11.13.2	Método de Laurent y Niemann	61
11.14	Tensiones de paso y de contacto del sistema de puesta tierra.....	61
	Voltaje máximo de la malla de tierra en falla.....	61
11.15	Presupuesto total de materiales a utilizador en la malla de puesta tierra	65
12	IMPACTOS	65
13	PRESUPUESTO.....	66
14	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
15	BIBLIOGRAFÍA	68
16	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1. Actividades en relación a los objetivos.	7
Tabla 8.1. Valores orientativos de la resistividad en función del terreno [13, p. 204].....	11
Tabla 8.2. Influencia de la longitud de pica vertical enterrada [17, p. 8].....	15
Tabla 8.3. Resistividad de materiales.	16
Tabla 8.4. Resistividad promedio de suelos [18, p. 18].....	17
Tabla 8.5. Dosis de gel aditivo de acuerdo a resistividad.....	17
Tabla 8.6. Reducción de resistividad con gel aditivo.	18
Tabla 8.7. Incidencia de los cortocircuitos [14, p. 6].	23
Tabla 8.8. Efecto de amperios en el cuerpo humano [2].	25
Tabla 8.9. Tensión máxima de contacto según ambiente de trabajo [15].	27
Tabla 8.10. Resistencia del cuerpo mediante relación tensión de contacto/frecuencia [15]. ...	27
Tabla 8.11. Propiedades de las diferentes sobretensiones [24].	29
Tabla 10.1 Variable dependiente e independiente.....	32
Tabla 11.1. Potencia aparente de máquinas inyectora para forma de botellas.	35
Tabla 11.2 Potencia aparente de secadoras	36
Tabla 11.3. Potencia aparente sopladora de PET.	37
Tabla 11.4 Potencia aparente sopladora 1.	37
Tabla 11.5. Potencia aparente sopladora 2.	38
Tabla 11.6. Potencia aparente bloque 1 termo formado para tarrinas.	39
Tabla 11.7. Potencia aparente bloque 2 termo formado para tarrinas.	39
Tabla 11.8. Potencia aparente bloque 3 termo formado para tarrinas.	40
Tabla 11.9. Potencia aparente bloque 4 termo formado para tarrinas.	40
Tabla 11.10. Potencia aparente termo formado para vasos.	41
Tabla 11.11. Potencia aparente del tablero 1.....	42
Tabla 11.12. Potencia aparente del tablero 2.....	43
Tabla 11.13. Potencia aparente del tablero 3.....	44
Tabla 11.14. Selección del nuevo transformador.	44
Tabla 11.15. Corrientes nominales de cada máquina.	45
Tabla 11.16. Corrientes de arranque de motores.	46

Tabla 11.17 Datos eléctricos de la empresa Inplastico.....	49
Tabla 11.18 Resistencia mínima en sectores [24, p. 82].	56
Tabla 11.19. Características de la malla con 6 varillas y 264 Ω m de resistividad.	59
Tabla 11.20. Resistencia de malla con 6 varillas y 264 Ω m de resistividad.	59
Tabla 11.21 Características de la malla con 6 varillas y 20 Ω de resistividad.	60
Tabla 11.22 Características de la malla con 6 varillas y 30 Ω de resistividad.	60
Tabla 11.23. Materiales de la puesta a tierra.	65
Tabla 13.1. Presupuesto de la investigación.....	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 8.1 [14, p. 17].	10
Ilustración 8.2. [4].	13
Ilustración 8.3 Método Wenner [21].	19
Ilustración 8.4. Método de 3 puntas [22].	19
Ilustración 8.5 [23].	20
Ilustración 8.6. [22]	20
Ilustración 8.7. Cortocircuito [14, p. 5].	21
Ilustración 8.8 [14, p. 8].	22
Ilustración 8.9. [14, p. 8].	22
Ilustración 8.10. [14, p. 8].	23
Ilustración 8.11. [24].	24
Ilustración 8.12 [14, p. 30].	24
Ilustración 8.13. Contacto directo e indirecto [15, p. 1].	26
Ilustración 8.14. Carga electrostática [24].	28
Ilustración 8.15 Pararrayos. [24]	30
Ilustración 11.1. Ubicación de la fábrica Inplastico [Google maps].	33
Ilustración 11.2. Disposición de la maquinaria nueva.	34
Ilustración 11.3. Inyectora.	35
Ilustración 11.4. Secadoras.	36
Ilustración 11.5, Sopladora de Pet.	36
Ilustración 11.6 Inyectora sopladora 1	37
Ilustración 11.7. Inyectora sopladora 2.	38
Ilustración 11.8. Bloque 1 preformado tarrinas.	38
Ilustración 11.9. Bloque 2 preformado tarrinas.	39
Ilustración 11.10. Bloque 3 preformado tarrinas.	40
Ilustración 11.11 Bloque 4 preformado tarrinas	40
Ilustración 11.12 Preformado Vasos	41
Ilustración 11.13 Tableros de medición y protección general.	41
Ilustración 11.14. Tablero 1.	42
Ilustración 11.15. Tablero 2.	43
Ilustración 11.16. Tablero 3.	43

Ilustración 11.17. Curvas de disparo de termomagnéticos.....	47
Ilustración 11.18. Caída de voltaje en Melshort.....	47
Ilustración 11.19. Corriente de cortocircuito máximo en el tablero principal.....	48
Ilustración 11.20. Telurómetro marca EXTECH 382158.....	55
Ilustración 11.21. Electrodo cooperweld para malla.....	57

ACRÓNIMOS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
UNE	Una norma española.
NEC	Normativa eléctrica colombiana.
CEN	Código eléctrico nacional (México)
HP	Hourse power.
ANSI	American National Standards Institute.
TDG	Tablero de distribución general.
TMPG	Tablero de medición y protección general.
THOR GEL	Hexacianoferrato de Cobre
AIEE	American Institute of Electrical Engineers

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO”

Autor: Cabezas Mayorga Klever Santiago

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo diseñar una malla de puesta a tierra que canalice sobrecorrientes de falla a lugares de referencia segura con el fin de evitar percances a personas y alargar la vida útil de la maquinaria que realizan actividades en el nuevo galpón de la fábrica INPLASTICO, esta actividad conllevará al mejor desempeño del personal pues se brinda mayor seguridad a la hora de realizar sus labores cotidianas.

Para realizar un correcto dimensionamiento de la malla de puesta a tierra en la nueva nave de la fábrica INPLASTICO, en primera instancia se debe medir la resistividad del suelo ya que de este parámetro dependerá en gran parte el diseño del sistema. Esta actividad se la realiza con la ayuda de un telurómetro de marca EXTECH 382152 mediante el método de profundidad de varilla, en el caso de que la medida correspondiente presente un valor elevado se podrá realizar sugerencias para aumentar la conductividad del mismo logrando reducir el costo de materiales necesarios para la futura implementación.

El cálculo de resistencia final se elabora mediante métodos científicos tales como IEEE – 80 y los expuestos por Laurent y Niemann, quienes han estudiado los fenómenos geofísicos y geoelectrónicos de la puesta a tierra.

Además se elabora un estudio de cortocircuitos diseñado en el programa MELSHORT patrocinado por Mitsubishi en función a los equipos que se pretende instalar en el nuevo galpón con el fin de obtener valores de cortocircuito, los mismos que permitirán dimensionar las protecciones y calibres de conductores para cada máquina así como también el calibre final del conductor que se conectará desde pararrayos, tableros de medición y protección, estructura metálica; hacia la malla de tierra, evitando que las corrientes de paso y de toque afecten al personal que día a día realiza actividades de producción, matricería, oficina y bodega.

Para finalmente realizar el diseño de tal sistema de seguridad y elaborar un listado de materiales que serán necesarios cuando se realice la implementación correspondiente.

Palabras clave: Resistividad, cortocircuito, termomagnéticos, conductores, voltaje de contacto, voltaje de paso, resistencia, telurómetro, sobrevoltajes.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “DESIGN OF A GROUND MESH; IN A WAREHOUSE OF INPLASTICO FACTORY”

Author: Cabezas Mayorga Klever Santiago

ABSTRACT

The objective of this research project is to design a grounding mesh that channels fault overcurrent to safe reference points in order to avoid accidents to people and lengthen the useful life of the machinery that performs activities in the new warehouse. INPLASTIC factory, this activity will lead to the best performance of staff thus provides greater security when it comes to perform their daily tasks. Then, to perform a correct dimensioning of the grounding mesh in the new INPLASTICO factory ship, in the first instance soil resistivity must be measured since the design of the system will largely depend on this parameter. This activity is carried out with the help of an EXTECH 382152 tellurometer using the rod depth method, in the case of that the corresponding measure has a high value; suggestions can be made to increase its conductivity, thus reducing the cost of materials needed for future implementation. Consequently, the final resistance calculation is elaborated by scientific methods such as IEEE - 80 and those exposed by Laurent and Niemann, who have studied the geophysical and geoelectric phenomena of grounding. In addition, a short circuit study designed in the MELSHORT program sponsored by Mitsubishi is prepared based on the equipment that is to be installed in the new shed in order to obtain short-circuit values, the same ones that will allow to dimension the protections and calibers of conductors for each machine as well as the final caliber of the conductor that will be connected from lightning rods, measurement and protection boards, metal structure; to the ground mesh, preventing the flow of pitch and touch affects the staff who every day performs production activities, tooling, office and warehouse. Therefore, to finally carry out the design of such a security system and prepare a list of materials that will be necessary when the corresponding implementation is carried out.

Key words: resistivity, short-circuits, breakers, drivers, contact voltage, voltage step, resistance, tellurometer, surges.

AVAL DE TRADUCCION



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS, CABEZAS MAYORGA KLEVER SANTIAGO** cuyo título versa **“DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2018

Atentamente,



Lic. MSc. Patricia Mena V.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501574297



**CENTRO
DE IDIOMAS**

xviii

www.utc.edu.ec

Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido /San Felipe. Tel: (03) 2252346 - 2252307 - 2252205

1 PROYECTO DE TITULACIÓN

Título: DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA; EN UN GALPÓN DE LA FÁBRICA INPLASTICO.

Fecha de inicio:

10 de Octubre del 2017

Fecha de finalización:

3 Agosto del 2018

Lugar de ejecución:

Empresa Inplastico-Niagara-Latacunga.

Facultad

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera

Ingeniería Eléctrica

Proyecto de Investigación Vinculado

Equipo de Trabajo:

Tutor del proyecto de investigación.

NOMBRES Y APELLIDOS:	Gabriel Napoleón Pesántez Palacios
DOCUMENTO DE IDENTIDAD:	030189388-9
FECHA DE NACIMIENTO:	14 de junio de 1987
ESTADO CIVIL:	Soltero
TELÉFONO:	0998596423
E-MAIL:	gabriel.pesantes3889@utc.edu.ec

Coordinador del proyecto de investigación.

NOMBRES Y APELLIDOS:	Klever Santiago Cabezas Mayorga.
DOCUMENTO DE IDENTIDAD:	060409327-8
FECHA DE NACIMIENTO:	08 de mayo de 1994.
ESTADO CIVIL:	Soltero
TELÉFONO:	0987094183
E-MAIL:	klevercabezas3@gmail.com

Área de Conocimiento:

Ingeniería y profesiones afines.

Línea de investigación:

Conversión y uso racional de la energía.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Explotación y diseño de sistemas eléctricos de potencia (Calidad de la energía).

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**Introducción**

Desde el principio de la humanidad existió la electricidad de forma natural (rayos) hasta que a partir del siglo XVIII en el año 1731 Stephen Greg atraído por el curioso fenómeno eléctrico y un sinnúmero de estudios relacionados procedió a realizar un experimento al conducir corriente de bajos amperios a través de la fisiología de un joven, más tarde en el año 1734 Dufay intrigado por el mismo experimento hizo pasar por su propio cuerpo corriente a la vista del público en una plaza, atónitos los presentes un hombre curioso toco el cuerpo que se encontraba suspendido a unos pocos centímetros del suelo provocando una chispa misma que la describió como una descarga a tierra. Miles de experimentos desde entonces se han realizado en todo el mundo pudiendo impulsar algunas teorías y el uso de las corrientes de bajo y alta frecuencia tales como Carl August que en 1883 dio a conocer el telégrafo que utilizaba corriente por tierra, desde entonces muchos investigadores de la medicina, matemática e incluso la geoelectrónica que en un libro denominado Corrientes Telúricas

publicado en el año 1961 por Frank Ollendorf explica los principios de la electrostática basándose en problemas relacionados con la electrotécnica.[1, pp. 12-18]

El sistema de malla puesta a tierra viene desarrollándose desde hace varios años atrás presentando modificaciones y mejoras a lo largo del tiempo, en primer lugar cabe destacar que el sistema no resulta muy económico pues se incurre en costos de instalación elevada, pero se debe considerar que se pretende mejorar y alargar la vida útil tanto de los diferentes elementos y maquinarias que vinculen energía eléctrica así como salvaguardar la vida de las personas que estén involucradas de forma directa o indirecta con el sitio de trabajo. Adicionalmente se debe considerar que al implementar un sistema de puesta a tierra se está cumpliendo con determinadas regulaciones en lo concerniente a la seguridad laboral.

La empresa Inplastico viene desarrollando actividades de producción de material plástico desde el año 2007, en primera instancia en la ciudadela el Niagara, posteriormente, gracias a su crecimiento económico e institucional pudo adquirir un terreno en el año 2010 ubicado en el sector de Tiobamba precisamente en la panamericana sur kilómetro 2 vía a salcedo y desde entonces realiza las mismas actividades a mayor escala. Inicialmente la fábrica construyó dos naves industriales las cuales sirven en la actualidad para la producción del material plástico y bodega del producto terminado, respectivamente, cabe mencionar que en las naves existentes ya se cuenta con una malla de puesta a tierra que al momento alcanza su resistividad programada.

A medida que la empresa sigue con el proceso de producción se hace necesaria la adquisición de nueva maquinaria procedente del exterior, esto hace que la capacidad de ella, ocupe totalmente una nueva nave industrial, para ellos es necesario realizar un estudio de carga para el dimensionamiento del nuevo transformador para su normal funcionamiento, esto conlleva a implementar un sistema de seguridad en el nuevo galpón ante sobre corrientes producidas por efectos de origen interno (por maniobra, frecuencia industrias, etc. o de origen externo (descargas atmosféricas)

El nuevo galpón albergará la nueva maquinaria y equipo, este tendrá un sistema independiente de puesta a tierra, el cual protegerá a todo el entorno.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

El presente estudio se lo realiza en la fábrica INPLASTICO, la misma que a lo largo del tiempo en su funcionamiento no cuenta con un registro de accidentes causados a consecuencia de electrocuciones, pero se pudo evidenciar salidas repentinas por choques eléctricos de sus equipos y maquinarias, en los galpones que actualmente están en funcionamiento.

Las salidas repentinas de servicio pueden prevenirse en el nuevo galpón, si se implementa un sistema de seguridad que tome en consideración normativas vigentes, impidiendo que los choques eléctricos que puedan ocasionarse por distintos factores eléctricos involuntarios afecten a la maquinaria que realiza el proceso de producción del material plástico.

“Respetando las normas constituidas por instancias nacionales e internacionales, se pretende que cualquier choque eléctrico involuntario ocasionado en el ambiente de trabajo sea conducido a tierra, procurando producir diferencia de potencial entre dos puntos del mismo”[2, p. 4]

De lo expuesto anteriormente se considera necesario diseñar un sistema de puesta a tierra en el nuevo galpón para evitar que los choques eléctricos, voltajes de toque y de paso que podrían existir causen accidentes en el personal de la planta así como alargar la vida útil de los equipos y maquinarias.

Con el sistema de puesta a tierra además de protegerá al personal que es lo primordial se logrando confiabilidad en los procesos de producción de la fábrica en estudio, pues se pretende reducir el índice de salidas de servicio que provocan daños en la maquinaria ya sea por descargas atmosféricas o maniobras, beneficiando directamente a los trabajadores que ahí desarrollan sus labores en conjunto con maquinaria, al dueño de la empresa que elevará sus niveles de producción sin interrupción alguna y finalmente a los usuarios de la red a la que se conecta la fábrica.

Como futuro ingeniero eléctrico de la UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI es mi deber mejorar la calidad de vida de la sociedad, mejorando los procesos en la industria con el fin de mantener una producción constante, minimizando los consumos de energía reduciendo pérdidas innecesarias y sobre todo considerando la seguridad tanto humana como de las instalaciones físicas.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Directamente

Al personal que labora en la fábrica, aproximadamente 40 personas pues se aumenta la seguridad y al mismo tiempo se disminuyen los riesgos de trabajar con energía eléctrica mientras realizan sus labores. También beneficia al dueño de la fábrica que observará que sus equipos y maquinaria prolongan su vida útil al estar referenciados a un mismo sistema de protecciones que evacuará si es necesario las corrientes de falla.

4.2 Indirectamente

Se benefician los usuarios de la red de Distribución próximos a la fábrica pues los índices de ruidos y problemas que podría inyectar la fábrica en la red disminuyen, específicamente a los usuarios que están conectados a la subestación San Rafael – Alimentador Sur.

5 EL PROBLEMA

Situación problemática

El problema más importante que se presenta es el referente a la seguridad del personal que labora en la fábrica pues al no tener un adecuado sistema de puesta a tierra se ven expuestos a sufrir un voltaje de toque y voltajes de paso los mismos que pueden causar lesiones físicas, incapacidades e incluso la muerte de acuerdo al tiempo de exposición del individuo frente a un evento eléctrico y de igual manera las fallas por corrientes elevadas que afectan a los equipos y maquinaria provocando daños internos tanto en bobinados, conductores, tableros, en fin; en todo el sistema de distribución eléctrica del nuevo galpón reduciendo la vida útil de los mismos y a su vez disminuyendo la confiabilidad en los procesos de producción.

Formulación del problema

Se realiza el diseño de malla de puesta a tierra debido a la inexistencia de la misma, por tanto las personas, maquinarias y elementos de la instalación industrial se encuentran propensos a sufrir percances y daños. Con el sistema mallado se logra brindar seguridad al personal y alargar la vida útil de la maquinaria y elementos eléctricos.

6 OBJETIVOS

6.1 General

Diseñar una malla de puesta a tierra que cumpla con la reglamentación eléctrica, para proteger equipos, maquinaria y personal de un galpón en la fábrica Inplastico.

6.2 Específicos

- Realizar estudios de cortocircuitos en el nuevo galpón de la fábrica inplastico.
- Elaborar las respectivas mediciones de resistividad del suelo.
- Diseñar la malla de puesta tierra.
- Definir el listado de materiales necesarios para la elaboración de la puesta a tierra.
- Evaluar técnica y económicamente la malla de puesta a tierra.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 7.1. Actividades en relación a los objetivos.

Objetivos Específicos	Actividades(tareas)	Resultado de las actividades	Descripción de la actividad
Realizar estudios de cortocircuitos en el nuevo galpón de la fábrica inplastico.	Se recolecta datos de todas las máquinas que ingresarán a operar en el nuevo galpón, diseñando protecciones térmicas para cada máquina.	Se puede evidenciar que el mayor aporte de corriente está en el TDG.	Mediante actividad de campo se recolecta información de las placas de datos de la nueva maquinaria.
Elaborar las respectivas mediciones de resistividad del suelo.	Medición del terreno con el telurómetro EXTECH 382152 utilizando método de profundidad de la varilla.	Se logra obtener el valor de resistividad con el que se realiza el diseño de la malla de puesta a tierra.	Descripción de los valores del terreno a diferentes distancias y profundidades.
Diseñar la malla de puesta tierra	Con los datos de resistencia mínima y cortocircuito máximo se procederá a verificar el arreglo más favorable.	Se elaboró un diseño rectangular que cumple con las especificaciones pertinentes.	Se analizó diferentes probabilidades y se escogió la mejor de ellas.
Definir el listado de materiales necesarios para la elaboración de la puesta a tierra.	Cotización de los materiales necesarios para la futura implementación del SPT.	Mediante un gráfico en AutoCAD se observa los insumos necesarios.	Esquematización de planos con la simbología correspondiente.
Evaluar técnica y económicamente la malla de puesta a tierra.	Se realiza un listado con los materiales y mano de obra para la puesta a tierra.	Se obtiene el valor aproximado de la futura implementación.	Se aplica investigación y visualización de costos y gastos .

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Antecedentes de la investigación.

Los sistemas aterrados hoy en día cumplen un papel de notable trascendencia a nivel mundial, un claro ejemplo es el de Reino Unido que determina que todos los sistemas de generación, transmisión y distribución estén conectados a tierra en un solo punto[3, p. 5]. Las conducciones a tierra se las realiza con diferentes materiales conductores que no tienen sistemas de interrupción, en nuestro país el más utilizado de acuerdo con su eficiencia y bajo costo es la varilla de cooperweld la misma presenta una composición de acero recubierta con cobre mediante un proceso de electrólisis [4], tales varillas son enterradas a ciertas distancias y profundidad de acuerdo a la composición del terreno (rocosos, arenosos, arcillosos entre otros) en donde se requiera implantar el sistema puesto que la resistividad que ofrece el suelo varía en todos los puntos de la tierra [5], el suelo en particular tiene características propias que de acuerdo a su estado geográfico en consecuencia se debe realizar diferentes estudios para proponer el mismo sistema con el fin de minimizar riesgos para las personas y los aparatos que pueden verse afectados por condiciones anormales o de falla [6] que pueden hacer disparar los interruptores termo magnéticos provocando interrupción de energía en una vivienda, edificación o industria.

El cálculo de la corriente que debe canalizar el conductor de tierra se lo realiza en base a la máxima corriente que puede presentarse en los tableros de distribución que protegen a los circuitos internos reflejando curvas de disparo de termo magnéticos en diferentes tiempos de acuerdo a el tipo de comportamiento del sistema tanto para conductores, corrientes elevadas por arranque de motores e incluso corrientes de impulso [7, p. 6], en el caso de que el conductor este mal dimensionado y alcance una resistencia equivocada puede traer consecuencias fatales especialmente para el ser humano quien al tener un camino fácil a tierra se descargará por él provocando lesiones e incluso la muerte dependiendo del camino que la corriente siga, el tiempo de exposición y la resistencia misma de la persona.[8]

En el caso particular de las personas los contactos pueden ser de dos maneras la directa o la indirecta a consecuencia de tensiones presentes en estructuras metálicas, carcasas e incluso diferencias de potenciales residuales en el suelo.[9]

Se puede encontrar una gran diversidad de artículos de revistas, libros e incluso bibliografía recopilada ya que la materia de puesta tierra es de mucha complejidad como ya antes se ha mencionado, interviene la composición de suelos, la química, la matemática, etc. En nuestro

país los sistemas de puesta a tierra no están muy controlados pero son obligatorios sistemas simples, por ejemplo en el sector residencial se debe tener una varilla a tierra por el medidor, en el sector industrial una pequeña malla es exigida, pero el control general sobre los sistemas de puesta a tierra es casi inexistente, particularmente en las industrias al momento de implantar un sistema de seguridad ante sobre corrientes no debe superar los 5 ohm, estos parámetros se los puede encontrar en la norma IEEE-80[10].

La resistencia de puesta tierra varia de un suelo a otro particularmente en bibliografías encontradas se expone que la resistencia de la línea Samanga - Pillaro oscila entre 5 y 20 Ω que es adecuado si se refiere a ese sistema [11, pp. 50-85] mientras que en Pichincha parroquia la merced al instalar un sistema de tres electrodos en un mini centro comercial se pudo obtener una resistencia inferior a los 5 Ω utilizando mejoramiento de suelo y distribución de varillas [12, pp. 83-102].

8.2 Puesta a tierra

El objetivo principal de una puesta a tierra es mitigar la tensión de contacto y la tensión de toque que puedan producirse entre distintos lugares de un establecimiento cuando ocurran fallas, canalizándola a un punto inmediato donde no haya peligro o se reduzca el riesgo de electrocución para personas. Así como asegurar la actuación de protecciones para alargar la vida útil de los materiales eléctricos. [13, p. 188]

8.2.1 Concepto de puesta a tierra

“Comprende todo enlace metálico directo sin fusible ni protección de sección suficiente entre determinados elementos de instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo para conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas del terreno no tenga diferencia de potenciales peligrosas permitiendo así el paso a tierra de las corrientes de falla o de la descarga de origen atmosférico.” [2, p. 196]

El realizar un sistema de seguridad, para las personas y los elementos de un lugar determinado, permite incurrir en sistemas confiables para la circulación de corrientes inadecuadas por un camino de baja resistencia menores a la del cuerpo humano.

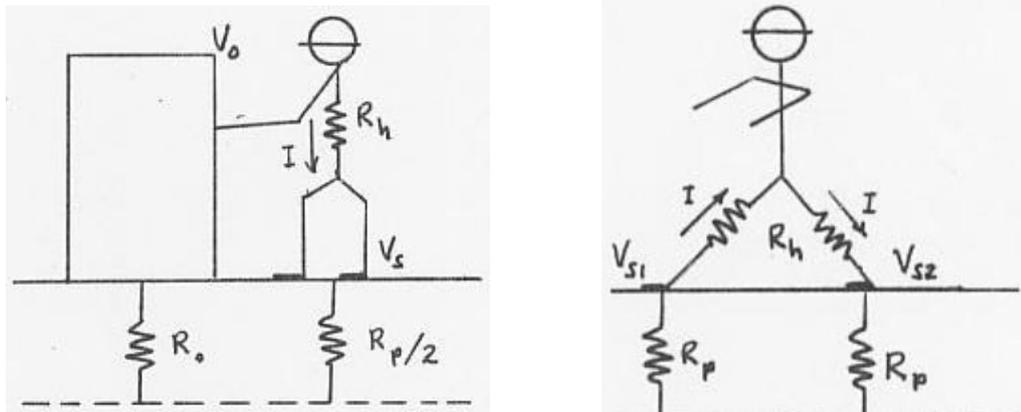


Ilustración 8.1 [14, p. 17].

8.2.2 Área de construcción de una malla de puesta a tierra.

La resistencia del suelo cambia de acuerdo a la composición del mismo, al momento de dimensionar el grupo de electrodos necesarios para la malla de puesta a tierra la resistencia de la malla no debe superar la resistencia del suelo puesto que sería un factor negativo a la hora de canalizar a las corrientes. [13, p. 204]

8.2.3 Misión de la puesta a tierra

Protege a las personas, animales, instalaciones eléctricas y los receptores conectados a ellas, contra contactos y sobre corrientes [15, p. 52]

8.2.4 Partes que intervienen en una puesta a tierra

Las partes de una instalación de puesta a tierra están expuestas a un sinnúmero de daños causados por el medio ambiente, deterioro de su vida útil, fragilidad, etc. Algunas causas de estas pueden ser corrosión galvánica por contacto, oxidación, materiales sintéticos, elevadas temperaturas, dilataciones, congelamientos. [16]

Factores que influyen en la resistividad del suelo

Sabiendo que el valor de la resistividad del suelo no es constante en el tiempo y que está afectado por muchos valores de los cuales los que más influyen son:

Naturaleza del terreno

Es la parte primordial a la hora de implantar el sistema de puesta a tierra de cualquier inmueble, pues aquí es donde se medirá la resistividad del mismo la cual varía de acuerdo al lugar y al material del cual está compuesto, las condiciones físicas del suelo cambian de

forma rápida tanto si nos desplazamos de un lugar a otro como si analizamos las propiedades de las capas más profundas.

Tabla 8.1. Valores orientativos de la resistividad en función del terreno [13, p. 204].

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD (Ωxm)
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcilloso	50 a 500
Arena silíceo	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos de gres de alterados	100 a 600

Como se muestra en la tabla 2 los elementos que se encuentran en un grado de humedad altos resultan ser buenos conductores, por lo que son adecuados al momento de implementar una malla de puesta a tierra, si los terrenos son de resistividad elevada se debe realizar un tratamiento pudiendo utilizar diferentes métodos como; prepararlos con sales minerales, carbón, tierras negras, etc.

Humedad.

Es una propiedad que influye de forma directa sobre la resistividad del terreno. Al aumentar la humedad disminuye la resistividad por lo que el paso de los electrones es de forma libre. La humedad del terreno es un factor ambiental el cual va a depender de diferentes factores, pero sobre todo de la cantidad de precipitación anual que exista en la zona

Temperatura.

La resistividad del terreno varia de forma considerable con las bajas temperaturas, un ejemplo claro es cuando la temperatura del suelo alcanza los 0 °C, el agua que contiene pasa a estado sólido aumentando notablemente la resistividad del terreno.

Salinidad.

Las sales tienen gran influencia sobre los terrenos de hecho el sistema o uno de los sistemas más utilizado para mejorar los niveles de conductividad es agregar sales y posteriormente regarlos con agua común o en su defecto con aditamentos suplementarios.

Disposición de las capas del terreno.

Dependiendo de las características que presente el terreno los electrodos son introducidos a mayor o menor profundidad o se puede aumentar la separación entre ellos si existe el espacio físico. Cuando los terrenos son de poca resistividad las picas a utilizarse son clavadas a poca profundidad, caso contrario pasa cuando los terrenos tienen una resistividad elevada donde las picas o varillas se introducen a varios metros de profundidad encontrando en su camino diferentes valores de resistividad por la composición interna de los mismos.

Variaciones estacionales.

Influyen en las capas superficiales de los terrenos por lo que es recomendable introducir las varillas a una distancia de profundidad donde las variaciones climáticas no afecten en lo posible al terreno. Pues cuando mayor sea la profundidad menos influencia exterior tendrá el terreno.

Factores de naturaleza eléctrica.

La magnitud de la corriente de puesta a tierra puede modificar el comportamiento del electrodo, por lo que un conductor de sección no adecuado alcanzará su temperatura crítica en un tiempo reducido, haciendo que el agua que hay alrededor de él se evapore produciendo sequedad en el terreno y así aumentando su resistividad.

8.3 Materiales utilizados en la puesta a tierra.**8.3.1 Toma de tierra**

Hace referencia al material a utilizarse al momento de instalar un sistema de puesta a tierra, el material preferido a la hora de realizar el montaje es el cobre; el tipo y la profundidad de las

tomas de tierra deben ser tales que no permitan pérdidas de eficiencia, la profundidad no debe ser inferior a 50cm.

Los materiales a utilizarse deben ser afectados en lo mínimo por la resistencia eléctrica y mecánica para que no comprometa la instalación. Según la norma UNE 21.022 los electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica de clase 2. [16]

8.3.2 Electrodo

Son elementos que permiten la conexión permanente con el terreno, pudiendo ser estos naturales o artificiales, estos últimos tendrán la característica de no alterar su composición al contacto con el terreno por humedad o acciones químicas antes explicadas en el numeral 8.1.4

Los electrodos pueden ser:

- Picas verticales.
- Placas enterradas.
- Cables enterrados.

Picas verticales

Son las más utilizadas a nivel mundial por su eficiencia y economía, por lo general están construidas en acero con un recubrimiento de cobre de 300 micras de espesor llegando a tener un diámetro de hasta 18mm y una longitud de entre 1.5m a 3m, al tener un recubrimiento de cobre presentan una alta resistencia a la corrosión.

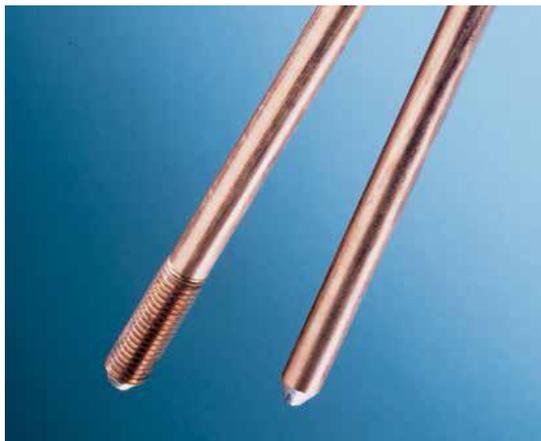


Ilustración 8.2. [4].

“Cuando hay una alta resistividad del terreno las corrientes que lo atraviesan sufren una considerable caída de tensión, habiéndose determinado que prácticamente cerca del 90% del total de dicha caída se produce en un radio de 1.80 m alrededor de la pica.” [16]

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8.1)$$

Donde:

$$\rho = \text{Resistividad } \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

L = Longitud m.

A = Sección mm^2

Para reducir la resistencia se colocan picas en paralelo con separación de 2 veces la medida de cada pica. Favorablemente que todas las varillas lleguen a superficies húmedas para aprovechar sus propiedades. En espacios reducidos se aplica una pica encima de otra mediante un procedimiento que necesita de maquinaria que hace que su costo de instalación se incremente, al realizar el hincado de las mismas. Por lo que es recomendable la puesta en paralelo de las picas unidas eléctricamente con un conductor de cobre desnudo de entre 35 a 50 mm^2 .

Placas enterradas.

Son placas rectangulares generalmente de 0.5 x 1 m pueden ser de un espesor de cobre 2 mm o de hierro galvanizado de 2.5 mm con cortes de 1cm a lo largo de todo su perímetro para mayor contacto. Se las entierra a 50cm del suelo y encima de ellas arena arcillosa para un paso a tierra bajo.

Cables enterrados.

Son conductores de cobre o acero galvanizado de secciones no mínimas a 35 mm^2 y 95 mm^2 respectivamente que se entierran en edificios bajo su cimentación. Cuando hay que realizar empalmes en estos conductores se realiza mediante soldadura aluminotérmica, abrazaderas de bronce con tornillos de acero electrogalvanizado o acero inoxidable.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8.2)$$

Donde:

$$\rho = \text{Resistividad } \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

L = Longitud m.

A = Sección mm^2

Influencia de la longitud de un cable enterrado en la resistencia de tierra

Al analizar las diferentes longitudes en un conductor horizontal de 0.01 m de radio y de profundidad 0.4 m. los resultados son:

Tabla 8.2. Influencia de la longitud de pica vertical enterrada [17, p. 8].

Longitud (m)	RESISTENCIA DE TIERRA EN OHM
15	31.3
30	16.6
60	8.7

Esto nos hace caer en cuenta que existe una relación proporcional e inversa entre la longitud y la resistencia de puesta a tierra siempre y cuando las capas de abajo sean mejores conductores de electrones [17].

8.3.3 Borne principal de tierra

Punto situado fuera del suelo que une el conductor de tierra con los conductores de protección. El borne principal siempre tendrá que unirse a conductor de tierra, conductor de protección, conductor de unión equipotencial y conductor de protección contra rayos.

Adicionalmente hay que disponer de un equipo de medición para hacerlo periódicamente, este debe ser desmontable y seguro para el fácil acceso

Conductor de protección.

Unen eléctricamente las carcasas, estructuras y masas metálicas para asegurar protección contra contactos indirectos.

“Cuando el conductor de protección sea común a varios circuitos, la sección de ese conductor debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase.” [16]

8.4 Resistividad de un material

Propiedad específica e intensiva de la materia que mide la dificultad que presenta una sustancia para conducir la corriente eléctrica. Entre mayor es la resistividad menor será la capacidad de conducir corriente eléctrica.

Una resistividad baja indica un material que permite fácilmente el movimiento de carga eléctrica.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (8.3)$$

Donde:

A= Área	m^2
R= Resistencia	Ω
ρ = Constante de resistividad	$\Omega \times mm^2$.
l= longitud	m

A continuación se presenta un cuadro comparativo con la resistividad de algunos materiales.

Tabla 8.3. Resistividad de materiales.

MATERIAL	RESISTIVIDAD A 20°C (Ω/m)
Plata	1.59×10^{-8}
Cobre	1.70×10^{-8}
Oro	2.44×10^{-8}
Aluminio	2.82×10^{-8}
Tungsteno	5.52×10^{-8}
Níquel	7.2×10^{-8}
Hierro	9.98×10^{-8}
Estaño	12×10^{-8}
Acero Inoxidable	71.1×10^{-8}
Grafito	35.0×10^{-8}

8.5 Resistividad del terreno

Resistividad del terreno

Como se explicó en la teoría la resistividad varía en cada terreno y de acuerdo a esta resistividad se trabaja el arreglo de varillas en este caso por ser de menor costo y de eficiencia significativa. En la (tabla 5) se registra la resistividad media de acuerdo a la composición de los terrenos.

Tabla 8.4. Resistividad promedio de suelos [18, p. 18].

Tipo de suelo	Ohmeos -metros
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Cultivables pero poco fértiles, terraplenes	20 - 60
Pedregosos desnudos, arenas secas permeables	80 - 200

Mejoramiento del terreno por sales o geles

El mejoramiento del terreno se lo realiza cuando en las mediciones de resistividad se presentan valores elevados, pudiéndolos mejorar con sales minerales, geles sintéticos y otros aditamentos.

Bentonita

El uso de bentonita reduce drásticamente la resistividad al contar con 2.5Ω al 300 % de humedad, además de no ser corrosiva como lo puede ser el cloruro de sodio que se utiliza en muchos casos para dar tratamiento.

Cemento conductivo

Es un material conductivo granulado su composición es a partir de sustancias químicas estables, tiene una similitud al concreto. Permite la relación íntima entre el electrodo de puesta tierra y el terreno ayudando a prolongar la vida útil pues reduce la corrosión con el paso del tiempo y las condiciones variables del terreno. [19]

Gel aditivo

Método que consiste en incorporación de un gel especial para que mejore la conductividad de la tierra en estudio, ya que mejora su composición de humedad y alarga la vida útil de los compuestos metálicos. La cantidad del elemento varía de acuerdo a la resistividad del terreno, además la reducción es considerable. [20, p. 42]

Tabla 8.5. Dosis de gel aditivo de acuerdo a resistividad.

Resistividad Ω/m	Dosis
50 a 200	1 dosis x $3m^3$
200 a 400	2 dosis x $3m^3$
400 a más	3 dosis x $3m^3$

Tabla 8.6. Reducción de resistividad con gel aditivo.

Resistencia Ω	% de Reducción	Resistencia final Ω
600	95	30
300	85	45
100	70	30
50	60	20
20	50	10
10	40	6

8.6 Soldadura exotérmica

Uno de los principales problemas de los sistemas de puesta a tierra, ha sido siempre el incremento de la resistencia de contacto por causa de empalmes defectuosos que se dan entre conductores, conductores y barras cooperweld, o entre conductores y superficies.

La primera aplicación no ferrosa conocida, fue desarrollada en 1938 por el Dr. Charles Cadwell, del Case Institute of Technology y luego patentada por esta compañía. A este proceso se le llamó CADWELD en honor al Dr. Cadwell, de allí que coloquialmente se llame a la soldadura exotérmica soldadura CADWELD. [16]

8.6.1 ¿Qué es una reacción exotérmica?

Es una reacción química en la cual la energía es liberada. El prefijo exo significa salida y térmico significa calor o energía. Por lo tanto, se denomina reacción exotérmica a cualquier reacción química en la cual se desprende calor. Se da principalmente en las reacciones de oxidación. Las reacciones exotérmicas, en relación a los metales, son la reducción de un metal u óxido metálico por otro metal más reactivo, por lo general el aluminio.

8.6.2 Normativas para soldaduras exotérmicas

La primera norma a consultar sobre conexiones a través de soldadura exotérmica es por supuesto el CEN (Código Eléctrico Nacional) de México. Según la Sección 250, esta norma establece que las conexiones exotérmicas, instaladas adecuadamente, equivalen al propio conductor. Además explica que otros conductores deben ser distribuidos o calificados según pruebas esbozadas en IEEE Std 837-1989. Otras partes de IEEE Std 80 también hacen referencia a las conexiones exotérmicas para el sistema de toma a tierra. [16]

8.7 Métodos de medición

8.7.1 Método Wenner

Ese método es uno de los más utilizados a nivel mundial, pues consta de cuatro puntas que se conectan a un telurómetro su disposición es en línea recta a una distancia equidistante y profundidad de picas en estudio que medirá las capas del terreno en estudio pues que como ya sabemos cambia de su composición,

En la siguiente figura se puede observar los electrodos donde se verifica la caída de tensión P1 y P2 mientras C1 y C2 inyecta corriente continua de bajo módulo, (a) es la distancia entre electrodos y (b) es la profundidad de las picas de prueba. Si $a > 20b$ se desprecia b [21]

$$\rho = 2 * \pi * A * R \quad (8.4)$$

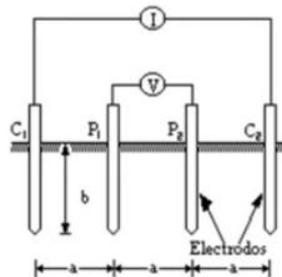


Ilustración 8.3 Método Wenner [21].

Con el método de medición hace falta realizar diferentes mediciones y sacar un promedio de todas las realizadas.

8.7.2 Método de 3 puntas

Recomienda la utilización de tres electrodos uno principal y dos auxiliares que deben ser del mismo material, se los ubica a una distancia determinada en forma triangular. La resistencia entre cada par de electrodos es medido por el método de dos puntos donde $r_{12} = r_1 + r_2$.

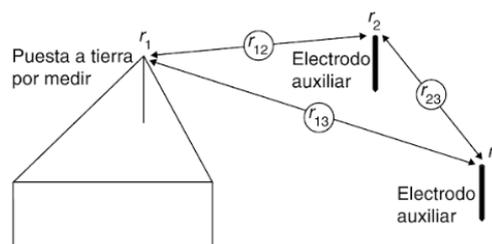


Ilustración 8.4. Método de 3 puntas [22].

$$r_1 = \frac{r_{12} - r_{23} + r_{13}}{2} \quad (8.5)$$

Los electrodos deben tener una profundidad de por lo menos 5 metros alcanzando resistividades bajas y la separación de cada electrodo debe ser igual a la distancia máxima de la malla.[22, p. 63]

8.7.3 Método de Caída de Potencial

Utiliza 2 electrodos auxiliares y el electrodo de puesta a tierra principal, hace circular corriente entre los electrodos externos los cuales deben estar debidamente separados produciendo una circulación de corriente por la tierra lo que hace caer el voltaje internamente en el aparato dando como resultado la resistividad del terreno en estudio. [23]

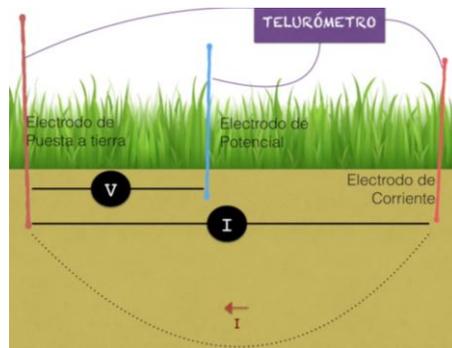


Ilustración 8.5 [23].

En este caso particular el electrodo principal no afecta la medición final del terreno.

8.7.4 La regla 62%

Este método se lo utiliza para realizar mediciones de sistemas de tierra ya implantados, mediante un electrodo de corriente a una distancia ($6 * d$) el electrodo de potencial se colocara a una distancia del 62% de la separación total entre los electrodos de corriente, específicamente del electrodo principal de tierra

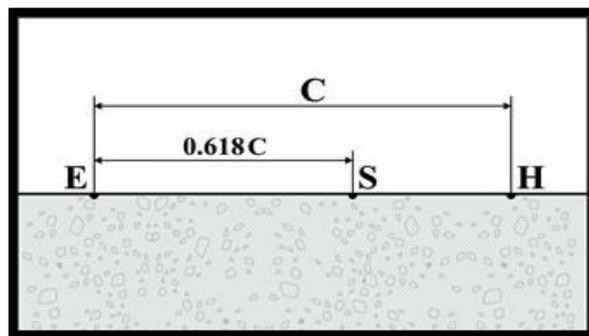


Ilustración 8.6. [22]

8.8 Sobre corrientes

Las sobre corrientes son ocasionadas por cortocircuitos, en el diseño de instalaciones eléctricas es de vital importancia considerarlas para realizar un buen dimensionamiento de las protecciones.

Algunos autores han determinado a un cortocircuito como una conexión de baja resistencia entre dos puntos de un mismo circuito que están a una diferencia de potencial. Una manera básica de definir un cortocircuito establece que la corriente nominal se eleva al infinito a consecuencia de esto la resistencia decae a 0 en un intervalo de tiempo relativamente bajo. Esto se puede evidenciar con la ley de OHM donde su inciso dice “La corriente es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia”

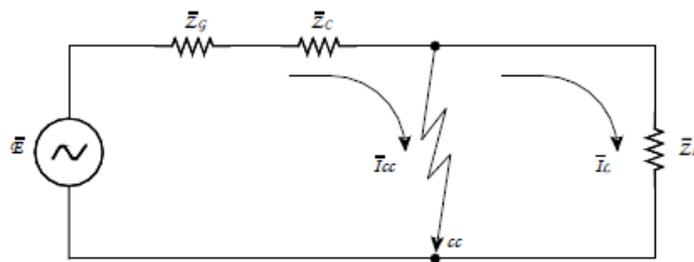


Ilustración 8.7. Cortocircuito [14, p. 5].

La corriente de carga en condiciones normales se define con la siguiente ecuación.

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_G + \bar{Z}_C + \bar{Z}_L} \quad (8.6)$$

Dónde:

\bar{I}_L , Corriente de carga

\bar{E} , Tensión eficaz de fase de la fuente.

\bar{Z}_G , Impedancia interna de la fuente.

\bar{Z}_C , Impedancia del conductor.

\bar{Z}_L , Impedancia de la carga.

La impedancia de la carga siempre será superior a la de los otros componentes del circuito. Entonces la fórmula se deduce a que la máxima corriente de impedancia creo que se puede obtener es:

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_L} \quad (8.7)$$

Las corrientes de cortocircuito son de gran magnitud en comparación a la corriente nominal, produciendo calentamientos y efectos dañinos para las instalaciones; tales efectos pueden mitigarse despejando las fallas en tiempos seguros.

$$\overline{ICC} \gg \overline{IL} \quad (8.8)$$

8.8.1 Corrientes de cortocircuito máxima y mínimas.

Las corrientes de cortocircuito máximas (trifásicas) son ocasionadas por disturbios en los bornes de salida de los termo magnéticos, precisamente estas corrientes se calculan con el afán de dimensionar los interruptores de cierre para evitar daños a equipos y maquinaria.

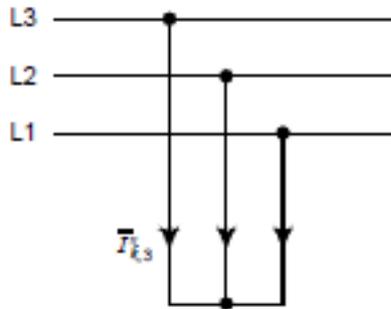


Ilustración 8.8 [14, p. 8].

Las corrientes de cortocircuito mínimas se originan en el punto más alejado del circuito es decir en las cargas, produciendo fallas entre fases o entre la fase y el neutro, en consecuencia estas corrientes se calculan para dimensionar correctamente las protecciones para conductores.

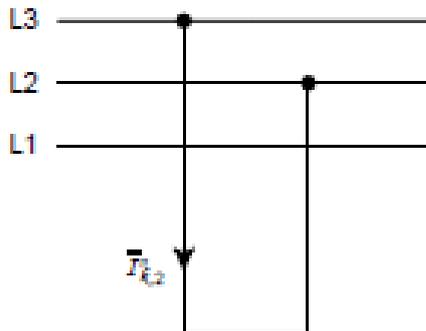


Ilustración 8.9. [14, p. 8].

Mientras que el cortocircuito fase-tierra se utiliza para la protección de sistemas aterrados para evitar así los contactos indirectos que pueden ocasionarse.

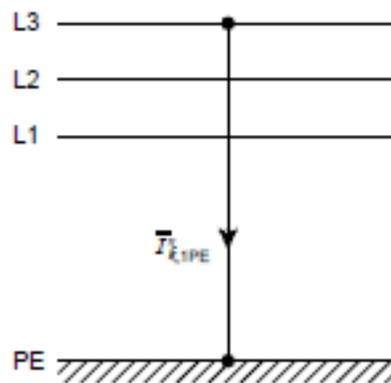


Ilustración 8.10. [14, p. 8].

Existe varias razones por las que se originan los malas maniobras, maltrato de conductores a la hora de la instalación e inadecuada utilización de materiales. Haciendo referencia a la frecuencia con que suceden los cortocircuitos se presenta una tabla elaborada con los porcentajes de corrientes de fallas.

Tabla 8.7. Incidencia de los cortocircuitos [14, p. 6].

Tipos de cortocircuito	Incidencia (%)
Monofásico	80
Bifásico	15
Trifásico	5

A consecuencia de los las corrientes de falla por un pequeño lapso de tiempo entre (10 y 100 ms) la corriente que se eleva, reduce considerablemente el modulo del voltaje ocasionando que partes de la instalación muchas veces queden fuera de servicio.

Fuentes que aportan cortocircuitos

Los elementos que aportan mayor corrientes de cortocircuito son:

- Red de suministro de energía eléctrica.
- Maquinas eléctricas sincrónicas.
- Maquinas eléctricas asincrónicas.

En la fábrica en estudio predominan en un 80% cargas puramente resistivas (Niquelinas), en menor cantidad hay elementos activos como son motores y compresores; además de un pequeño porcentaje de equipos electrónicos.

Red de suministro de energía eléctrica

Hay que tomar en cuenta que la red de suministro de energía en la ciudad, regularmente es de forma radial entonces las impedancias de red, transformador y carga al momento de suscitarse el cortocircuito se unen causando una gran magnitud de corriente puesto que es la sumatoria total de cargas aguas arriba hasta el punto del transformador en estudio. [24, pp. 122-135]

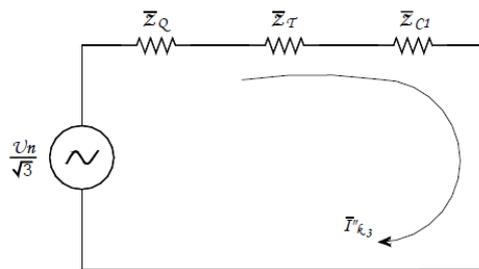


Ilustración 8.11. [24].

Máquinas asincrónicas

Las máquinas asincrónicas funcionan con energía suministrada por la red a su bobina del estator, esta crea un campo magnético capaz de hacer girar el rotor con diferente velocidad de sincronismo a una misma frecuencia.

El cortocircuito se crea al momento de suspensión de la tensión en los bornes de entrada produciendo que el campo giratorio desaparezca, en consecuencia existe inercia entre el campo magnético rezagado y la inercia de la carga. [14]

El aporte de corriente de cortocircuito de estas máquinas básicamente es bajo en comparación al de la red de distribución o al generador ya que en los 2 a 3 ciclos, prácticamente en 40 ms la falla es despejada quedando nuevamente en un régimen normal de operación.

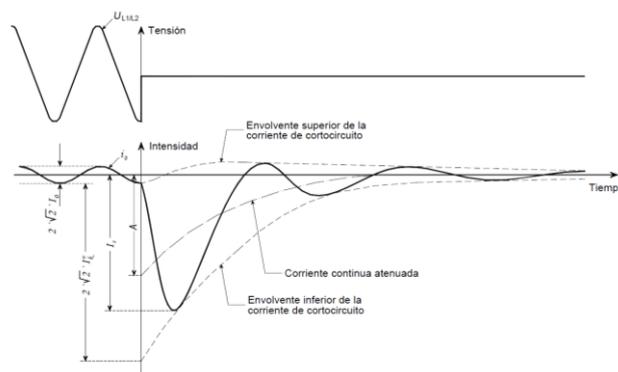


Ilustración 8.12 [14, p. 30].

En la ilustración se puede evidenciar el comportamiento de la corriente y su evolución en el tiempo, de mantenerse el estado transitorio y no despejarse actuarán las protecciones pertinentes.

8.8.2 Tensiones de paso

Las tensiones que pueden atravesar el cuerpo de forma directa o indirecta depende mucho del lugar por donde estos se dirijan, además de su frecuencia, magnitud y su duración.

$$V_{P \text{ tolerable}} = \frac{(1000+6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot 0.116}{\sqrt{T_c}} \quad (8,9)$$

Donde

C_s Factor de disminución de la capa superficial.

ρ_s Resistividad de la capa superficial.

$V_{P \text{ tolerable}}$ voltaje de paso tolerable.

T_c Tiempo de corte de protecciones

Frecuencia

En el cuerpo humano lo admisible para no ingresar a umbrales peligrosos va a depender mucho de la persona y de su estado físico, pues si bien es cierto que máximo sería 25 Hz ha habido casos donde se pudo evidenciar de hasta 30kHz.

Magnitud

Es el recorrido que realiza la corriente por el cuerpo humano, produciendo diferentes consecuencias debido a la magnitud de esta. Lo tolerable para el cuerpo humano es de hasta 3 mA. [2, p. 6]

Tabla 8.8. Efecto de amperios en el cuerpo humano [2].

Miliamperios	Tiempo de duración (s)	Efecto en el cuerpo
1	Momentáneo	Hormigueo
1 - 3	Momentáneo	No produce peligro
9 - 25	3	Pérdida del control muscular
Más de 100	3	Fibrilación ventricular peligrosa
100 - 1000	0.10	Fibrilación ventricular irreversible.
Más de 1000	0.003	Fibrilación ventricular y fuertes quemaduras

Duración.

La exposición de corriente durante cierto tiempo provoca lesiones graves, pero experimentos han podido constatar el tiempo de duración que oscila entre 0.003 s y 3 s para que se produzca fibrilación ventricular.

8.8.3 Tensión de contacto

Tensión existente antes de que el individuo toque un elemento energizado se la conoce como contacto indirecto, y se produce el contacto directo cuando el individuo toca la parte activa poniéndose en paralelo con la estructura o máquina existente en el lugar de trabajo.

Tensión de contacto

$$V_{C \text{ tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{T_c}} \quad (8.10)$$

Donde

C_s Factor de disminución de la capa superficial.

ρ_s Resistividad de la capa superficial.

$V_{C \text{ tolerable}}$ voltaje de contacto tolerable.

T_c Tiempo de corte de protecciones



Ilustración 8.13. Contacto directo e indirecto [15, p. 1].

$$I_d = \frac{V}{R_i + R_T} \quad (8.11)$$

$$V_C = R_T * I_d \quad (8.12)$$

Donde

I_d Intensidad del defecto (producida por un fallo en aislamiento)

V_C Tensión de contacto.

V Tensión de fase.

R_i Resistencia de fallo de aislamiento

R_T Resistencia de tierra.

Según el MIBT-021 la resistencia del cuerpo humano es 1000 a 2500 Ω en contacto directo, para ello se elabora un cuadro comparativo para respetar la norma de acuerdo al tipo de local.

Tabla 8.9. Tensión máxima de contacto según ambiente de trabajo [15].

TENSION MÁXIMA DE CONTACTO SEGÚN REBT	
Locales secos	50 V
Locales húmedos	24 V
Instalaciones sumergibles	12 V

Entonces este voltaje al ser contrarrestado por la R_c la determinados por simple ley de ohm.

Frecuencia e impedancia en el cuerpo humano

Además de las características propias de cuerpo se han realizado experimentos donde los contactos se los hace en diferentes zonas del cuerpo tomando en cuenta la magnitud, duración y frecuencia; hablando de esta última se dice que la impedancia baja cuando la frecuencia aumenta [15, p. 6]

Tabla 8.10. Resistencia del cuerpo mediante relación tensión de contacto/frecuencia [15].

FRECUENCIA	TENSION DE CONTACTO (R)				
	10 V	25 V	50 V	100 V	220 V
50 Hz	5325	<u>3250</u>	<u>2625</u>	<u>1875</u>	<u>1350</u>
100 Hz	4375	<u>2725</u>	<u>2200</u>	<u>1725</u>	<u>1325</u>
200 Hz	3250	<u>2125</u>	<u>1650</u>	<u>1350</u>	<u>1000</u>
300 Hz	2675	<u>1675</u>	<u>1350</u>	<u>1050</u>	<u>850</u>
400 Hz	2300	<u>1425</u>	<u>1175</u>	<u>900</u>	<u>775</u>
500 Hz	2000	<u>1225</u>	<u>1000</u>	<u>825</u>	<u>675</u>
1000 Hz	1475	<u>825</u>	<u>825</u>	<u>675</u>	<u>650</u>

2000 Hz	1200	<u>675</u>	<u>675</u>	<u>650</u>	<u>650</u>
---------	------	------------	------------	------------	------------

En consecuencia la resistencia de tierra siempre debe ser menor a la sensibilidad diferencial y de la máxima tensión de contacto permitida.

$$R_T < \frac{V_{\text{max de contacto}}}{I_{\Delta N}} \quad (8.13)$$

La tensión de paso y contacto más desfavorable se analiza de acuerdo a la capa superficial, afectado por un factor de reducción de resistividad del terreno mismo.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0.09} \quad (8.14)$$

Donde

ρ resistividad del suelo más profundo.

ρ_s resistividad de la superficie.

8.8.4 Sobre corrientes en pararrayos

El rayo es un fenómeno natural que puede ser muy destructivo pudiendo ocasionar incendios e incluso muerte para personas y animales. Se crea por la acumulación de partículas en las nubes de polaridad inversa a las de la tierra produciendo así la descarga que alcanza los 20000 V/m.

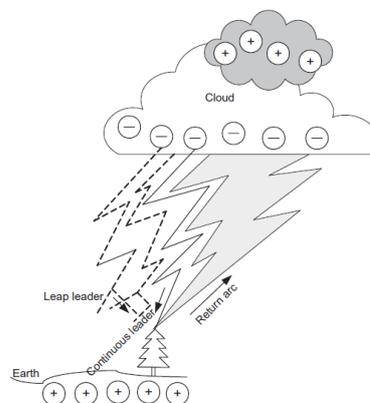


Ilustración 8.14. Carga electrostática [24].

Las subestaciones generalmente se cuidan mediante su hilo de guarda pero las industrias deben crear apantallamientos para evitar que estas descargas bruscas afecten al sistema interno. Los voltajes y corrientes creados por el fenómeno son de elevada magnitud.

$$N = N_g \left(\frac{28h^6 + 6}{10} \right) \quad (8.15)$$

$$N_g = 0.0577 Th \quad 1.1$$

Donde

N Nivel isoceroúnico (rayos al año)

N_g Densidad de la tierra

h altura de receptor en metros

b ancho de la estructura

Th número de horas de las tormentas al año

Sobretensiones posibles de acuerdo a su magnitud y frecuencia, se las evalúa en el orden del tiempo y el grado de peligrosidad.[24, p. 230]

Tabla 8.11. Propiedades de las diferentes sobretensiones [24].

Tipo de sobretensión	Coficiente	Duración	Frecuencia	Peligro
Maniobras	2 a 4	corta (1-100) ms	1-200 kHz	Medio
Poder de frecuencia	$\leq \sqrt{3}$	larga (30ms)	50-60 Hz	Bajo
Rayos	> 4	muy corta (1-100) μ s	1-1000kV/ μ s	Alto

La mejor protección para los comercios e industrias es la punta franklin, ideada en un conductor de dipolos que atrae el rayo hacia la punta y mediante unas válvulas internas las minimiza y conduce al sistema de puesta a tierra.

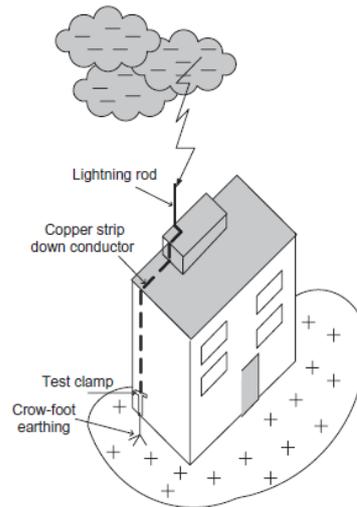


Ilustración 8.15 Pararrayos. [24]

9 HIPÓTESIS

Si se realiza el diseño de malla de puesta a tierra que cumpla con las normas de seguridad adecuada, se podrá garantizar la protección del material eléctrico, maquinaria y personal del nuevo galpón de la fábrica Inplástico.

10 METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1 Metodología y tipo de investigación utilizada.

Para realizar el correcto dimensionamiento del sistema mallado de puesta a tierra se realiza estudios de cortocircuitos y resistividad del suelo siguiendo lineamientos citados por normas.

10.1.1. Investigación Bibliográfica

Para realizar un correcto dimensionamiento de la malla de puesta a tierra se utiliza normativas vigentes tales como la IEEE-80, RBT, y normas que aporten al cálculo de una malla de puesta a tierra. Es decir se toma diferentes citas bibliográficas con el fin de obtener el mejor resultado a la hora de sugerir la malla de tierra. [26, p. 18] que en el momento de la implementación posterior deberán ser debidamente comprobadas cuando se realicen las mediciones oportunas.

10.1.1 Método de Investigación de Campo

Al estar expuesto con el dueño de la fábrica y con los trabajadores en el área de matricería, producción, bodega del producto terminado. Recogiendo testimonios concretos sobre afecciones que se podrían haber suscitado en el entorno de trabajo.

Este método nos permite realizar una indagación previa de la localización de nuestra malla de puesta a tierra particularmente realizando un diagrama donde se pueda evidenciar las partes constitutivas del sistema en su totalidad.[25, p. 10]

10.1.2 Método Descriptivo

Se lo utiliza puesto que se manejan datos reales de placas de motores así como de niquelinas sin poder variar los valores obtenidos y utilizándolos para el dimensionamiento de protecciones y calibres correspondientes.

Para realizar el diseño del sistema mallado se deben consumir estudios de cortocircuitos en los tableros de medición y protección general con el fin de encontrar valores de cortocircuitos máximos para no alterar el normal funcionamiento de las protecciones, además estudios de resistividad del suelo con el fin de elaborar una malla de puesta a tierra que canalice sin ningún problema las corrientes de fuga. Además se manejan valores de resistividad propios del terreno en estudio, pudiendo conseguir arreglos mediante picas que en el desarrollo del tema se podrá evidenciar.

10.1.3 Método de medición

Utilizado para manejar los datos arrojados por el telurómetro en base a los datos de lectura que aporta el mismo.

10.1.4 Método inductivo

Basado desde lo esencial, es decir se ocupa valores obtenidos por instrumentos de medida que son los parámetros esenciales para llegar a obtener resultados finales de la malla de puesta a tierra se pueden realizar conclusiones del número definitivo de varillas de cooperweld cuando se mejora el terreno, así como el calibre del conductor ideal que conectara todas las partes metálicas a la malla de puesta a tierra.

La utilización de programas Melshort es de vital importancia para la dimensión de protecciones calibre de conductores y sobre todo para obtener la máxima corriente de cortocircuito del sistema eléctrico de Inplastico se lo puede descargar libremente y es de mucha utilidad.

10.1.5 Investigación Correlacional

Se la realiza en base a los datos propios del terreno y la maquinaria evaluándolos mediante tensiones de paso y de toque admisibles para el cuerpo humano, además de la adecuada coordinación de protecciones que actúe en congruencia con la malla de puesta a tierra diseñada.

Tabla 10.1 Variable dependiente e independiente.

Variable independiente			
Variable	Indicador	Unidad	Fórmula
Diseño de malla: Mitigar la tensión de contacto y de toque que puedan producirse entre distintos lugares del suelo cuando ocurran fallas, canalizándola a un punto inmediato donde no haya peligro de electrocución para personas. Así como asegurar la actuación de protecciones para alargar la vida útil de los materiales eléctricos.	Resistencia mínima de tierra	Ω	$R_G = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + H * \sqrt{20 * A}} \right) \right]$ [29]
	Calibre de conductor para máxima corriente de falla	MCM mm^2	$A_{MCM} = I_F * k_f * \sqrt{t_c}$ [29]
Variable dependiente			
Variable	Definición	Unidad	Fórmula
Seguridad: Se refiere a los voltajes de paso y de toque admisibles para que el cuerpo humano no pueda verse afectado. Además de la apertura de las protecciones para alargar la vida útil de equipamiento y material.	Voltaje de paso tolerable.	Voltios tolerables por el cuerpo humano.	$V_{P \text{ tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{T_c}}$
	Voltaje de toque tolerable.		$V_{C \text{ tolerable}} = \frac{(1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{T_c}}$ [29]
	Máxima corriente de cortocircuito para disparo de protección.	Amperios	$I_P = \sqrt{2} * I_{CC}$ [29]

11 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1 Antecedentes de la empresa

La empresa Inplastico cumpliendo con una amplia trayectoria y en su afán seguir sirviendo al pueblo cotopaxense opta por realizar un estudio de cargabilidad para el nuevo galpón que elaboraría tentativamente vasos y tarrinas.

Como se había explicado con anterioridad en el principio de este documento la maquinaria exportada que se desea poner en funcionamiento debe estar completamente protegida ante disturbios ocasionados por distintas fallas que más adelante se pondrán en consideración, estas fallas serán conducidas a lugares que no presenten peligrosos para las personas, animales y maquinaria; siendo la mejor referencia un sistema mallado, elaborado de acuerdo a las características propias de resistividad del terreno y de los arreglos que pueden generarse para lograr el fin específico, siempre pensando en la economía sin dejar de lado la calidad del sistema mallado.

11.2 Ubicación de la Fábrica Inplastico.



Ilustración 11.1. Ubicación de la fábrica Inplastico [Google maps].

11.3 Distribución de la maquinaria en el nuevo galpón.

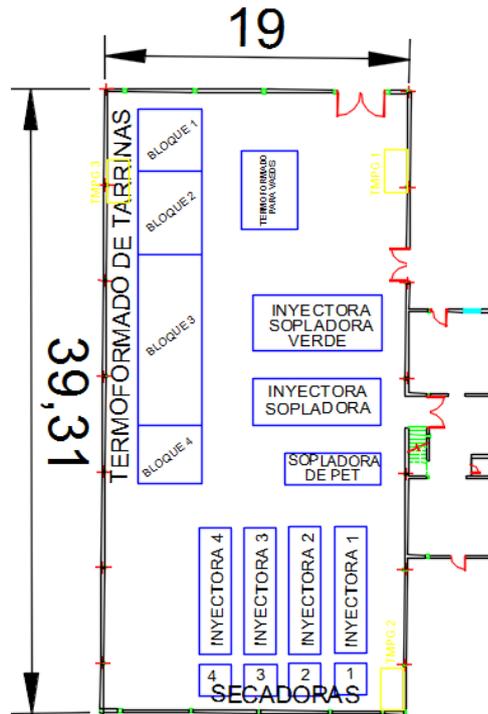


Ilustración 11.2. Disposición de la maquinaria nueva.

La maquinaria procedente del exterior básicamente cumple un rol similar a la de los galpones existentes con la gran diferencia que son de mayor potencia, a continuación se detallan las características propias de cada una de ellas.

El galpón que albergará la nueva maquinaria tiene un área de $746,89 \text{ m}^2$, donde la maquinaria quedará distribuida de acuerdo a la Ilustración 17.

Inyectora para formas de botellas.

Es una máquina de marca china Ekou HSJ – 180/250 k3 procedente de una fábrica Alemana, tiene unas dimensiones aproximadas de 8 m de largo por 2 de ancho con una altura de 1,5 m como se proyecta en (ilustración 17). Entre sus principales características consiste en un sinnúmero de unidades neumáticas que están comandadas por un controlador lógico programable que permite programarlas para realizar las actividades de inyección del material plástico (polietileno de alta densidad) a una presión determinada hacia los moldes elaborados en matricería.



Ilustración 11.3. Inyectora.

El proceso básico de la inyectora de material plástico es simple, acoge el plástico absorbido por una secadora (ilustración 19) y mediante un conjunto de niquelinas arrolladas en un tubo de 2 metros las calienta a una elevada temperatura, inmediatamente la colada es dirigida a los moldes que la sellan por presión, posteriormente lo enfrían unas mangueras que llevan el aire a presión y así repitiendo el proceso hasta alcanzar lo programado por el controlador lógico programable.

La máxima carga que se pudo evidencia en la inyectora fue un motor de 30HP y las 12 niquelinas circulares de 1250w cada una arrolladas en el tubo de 2 metros.

Tabla 11.1. Potencia aparente de máquinas inyectora para forma de botellas.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor	30	0,746	0,85	0,92	28,6189258
Niquelinas		15	1	0,92	16,3043478
					44,9232737
					4
				4 Inyectoras	179,693095

Secadora.

Está asociada directamente a las inyectora de gran tamaño son de marca SHINI tiene una altura de 2 metros por 1.5 metros de ancho y 1.5 metros de largo, poseen un conjunto de motores pequeños y de niquelinas encargadas de secar el material plástico que posteriormente las enviará a la inyectora correspondiente.



Ilustración 11.4. Secadoras.

No se pudo evidenciar claramente cada máquina de menos dimensión pero en su placa de características denota la potencia con la cual esta trabaja.

Tabla 11.2 Potencia aparente de secadoras

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Secadora		24,6	1	0,92	26,7391304
					4
				4 Secadoras	106,956522

Sopladora de Pet.

Acoplada a un sistema de enfriamiento por aire a presión la maquinaria procedente de Alemania y de fabricación China como se proyecta en (Ilustración 17) teniendo unas dimensiones aproximadas de 6 m de largo por 2 m de ancho y una altura de 2 m, su principal funcionamiento esta dado que determinados enlaces transportan la materia prima y la hacen pasar por un juego de resistencias cerámicas, siendo en la parte final sopladas por aire a presión.



Ilustración 11.5, Sopladora de Pet.

Se pudo evidenciar que la placa de características propias del conjunto de máquinas da un valor de 75 kW para su normal funcionamiento.

Tabla 11.3. Potencia aparente sopladora de PET.

Unidades	Hp	(Eq) KW	fp	Rendimiento	KVA
Motor		2	0,85	0,92	2,55754476
Niquelinas		64	1	0,92	69,5652174
Adicional		9	1	0,92	9,7826087
					81,9053708

Inyectora - sopladora 1

Máquina de marca tipo ASB NB20 MC de fabricación japonesa procedente de Alemania que cuenta con un sistema de enfriamiento por aire a presión, sus dimensiones son aproximadamente de 8 m de largo por 3 m de ancho y 3 m de altura

**Ilustración 11.6** Inyectora sopladora 1**Tabla 11.4** Potencia aparente sopladora 1.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		45	0,85	0,92	57,544757
Niquelinas		26,5	1	0,92	28,8043478
					86,3491049

Inyectora - sopladora 2

Máquina de marca tipo ASB 250EXHT de fabricación japonesa procedente de Alemania que cuenta con un sistema de enfriamiento por aire a presión, sus dimensiones son aproximadamente de 8 m de largo por 3,5 m de ancho y 3,5 m de altura. Cuenta con un bloque de motores y resistencias acopladas sistemáticamente.



Ilustración 11.7. Inyectora sopladora 2.

Tabla 11.5. Potencia aparente sopladora 2.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		50,2	0,85	0,92	64,1943734
Niquelinas		23,8	1	0,92	25,8695652
					90,0639386

Termo-formado para tarrinas

Bloque 1

Consiste en la recolección del material plástico por filtros de temperatura, es decir tubos calentados por niquelinas además mediante un conjunto de motores de pequeña potencia, el material plástico va tomando consistencia en la mezcla.



Ilustración 11.8. Bloque 1 preformado tarrinas.

Tabla 11.6. Potencia aparente bloque 1 termo formado para tarrinas.

Unidades	Hp	(Eq) KW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		80	0,85	0,92	102,3017903
Niquelinas		21,5	1	0,92	23,36956522
					125,6713555

Bloque 2

Un conjunto de motores de pequeña potencia dan forma al material plástico al hacerlo pasar por unos rodillos perfectamente alineados.

**Ilustración 11.9.** Bloque 2 preformado tarrinas.**Tabla 11.7.** Potencia aparente bloque 2 termo formado para tarrinas.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	KVA
Motor		3	0,85	0,92	3,83631714
Niquelinas		12	1	0,92	13,0434783
					16,8797954

Bloque 3

Es la parte donde mayormente se encuentra la carga de este proceso pues cuenta con niquelinas para calentar el polietileno de alta densidad para finalmente dar forma del mismo en moldes.



Ilustración 11.10. Bloque 3 preformado tarrinas.

Tabla 11.8. Potencia aparente bloque 3 termo formado para tarrinas.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		8,7	0,85	0,92	11,12531969
Niquelinas		96,2	1	0,92	104,5652174
					115,6905371

Bloque 4

Es en donde finalmente el proceso termina, consta de pequeñas niquelinas y formas de madera para el producto terminado.



Ilustración 11.11 Bloque 4 preformado tarrinas

Tabla 11.9. Potencia aparente bloque 4 termo formado para tarrinas.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		0	0,85	0,92	0
Niquelinas		5,4	1	0,92	5,86956522
					5,86956522

Termo-formado para vasos

Consiste en una máquina de que incluye motores de poca potencia y niquelinas arrolladas en un tubo que mediante calentamiento y preformas origina un producto terminado de calidad.



Ilustración 11.12 Preformado Vasos

Tabla 11.10. Potencia aparente termo formado para vasos.

Unidades	Hp	(Eq) kW	fp	Rendimiento	kVA
Motor		4,36	0,85	0,92	5,57544757
Niquelinas		19,9	1	0,92	21,6304348
					27,2058824

11.4 Distribución de tableros de medición y protección

La distribución de carga de para cada una de las máquinas se establece de la siguiente manera. [27, pp. 7-17]

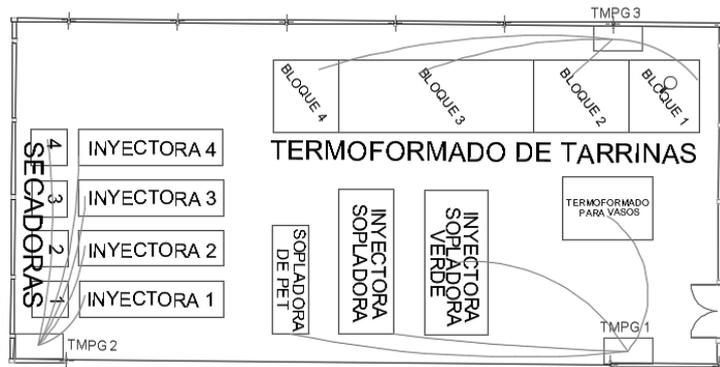


Ilustración 11.13 Tableros de medición y protección general.

El tablero 1

Como se puede evidenciar en la (Ilustración 28) este tablero (Ilustración 29) comandará las siguientes máquinas:

- Sopladora de Pet
- Inyectora sopladora 1
- Inyectora sopladora 2

- Termo-formado para vasos



Ilustración 11.14. Tablero 1.

El procedimiento para dimensionar la carga total que ingresará se lo realiza mediante factores de simultaneidad y utilización de las máquinas. Realizando la sumatoria de la potencia necesaria para el tablero 1 queda de la siguiente manera.

Tabla 11.11. Potencia aparente del tablero 1.

Máquinas	kVA	F utilización	F simultaneidad	kVA (Finales)
Inyectora sopladora 1	86,3491049	0,7	0,7	42,3110614
Inyectora sopladora 2	90,0639386	0,7	0,75	47,2835678
Sopladora de Pet.	81,9053708	0,8	0,8	52,4194373
Termo-formado para vasos	27,2058824	0,75	0,8	16,3235294
				158,337596

El tablero 2

Como se puede evidenciar en (Ilustración 28) este tablero (Ilustración 30) comandará las siguientes máquinas:

- 4 Inyectoras para formas de botellas.
- 4 secadoras del material plástico.



Ilustración 11.15. Tablero 2.

El procedimiento para dimensionar la carga total que ingresará se lo realiza mediante factores de simultaneidad y utilización entre las máquinas. Realizando la sumatoria de la potencia necesaria para el tablero 2 queda de la siguiente manera.

Tabla 11.12. Potencia aparente del tablero 2.

Máquinas	kVA	F utilización	F simultaneidad	kVA (Finales)
Inyectora para formas botellas	179,693095	0,8	0,6	86,2526854
Secadoras	106,956522	0,8	0,6	51,3391304
				137,591816

El tablero 3

Como se puede evidenciar en la (Ilustración 28) este tablero (Ilustración 31) comandará las siguientes máquinas:

- 4 etapas para termo-formado para tarrinas.



Ilustración 11.16. Tablero 3.

El procedimiento para dimensionar la carga total que ingresará se lo realiza mediante factores de simultaneidad y utilización de cada máquina. Realizando la sumatoria de la potencia necesaria para el tablero tres queda de la siguiente manera.

Tabla 11.13. Potencia aparente del tablero 3.

Máquinas	kVA	F utilización	F simultaneidad	kVA (Finales)
Bloque1 (termo-formado para tarrinas)	125,671355	0,9	0,8	90,48337596
Bloque2 (termo-formado para tarrinas)	16,8797954	0,9	0,8	12,15345269
Bloque3 (termo-formado para tarrinas)	115,690537	0,9	0,8	83,2971867
Bloque4 (termo-formado para tarrinas)	5,86956522	0,9	0,8	4,226086957
				190,1601023

11.5 Selección del transformador

El cálculo realizado para el dimensionamiento del transformador es la sumatoria de potencia requerida por cada tablero en el nuevo galpón, el cual trabajara a un voltaje de 440V.

Tabla 11.14. Selección del nuevo transformador.

TABLERO	KVA	
1	158,3375959	
2	137,5918159	
3	190,1601023	
TOTAL	486,0895141	PROXIMO 500 KVA

11.6 Corrientes nominales de acuerdo a las máquinas en estudio.

La corriente nominal por fase es calculada por la ecuación de la potencia aparente, a un voltaje de 440 V. En el Anexo 1 se detalla los conductores y termo magnéticos diseñados mediante Melshort según la gama que presenta.

Tabla 11.15. Corrientes nominales de cada máquina.

MÁQUINA	kVA totales	I(nom) por fase (A)
Inyect. Form bot 1	44,92327366	59
Inyect. Form bot 2	44,92327366	59
Inyect. Form bot 3	44,92327366	59
Inyect. Form bot 4	44,92327366	59
Secadora 1	26,73913043	35
Secadora 2	26,73913043	35
Secadora 3	26,73913043	35
Secadora 4	26,73913043	35
I Sopladora 1	86,34910486	113
I Sopladora 2	90,06393862	118
Sopladora pet	81,90537084	107
Termo-formado vasos	27,20588235	36
Termo-formado tarr(1)	125,6713555	165
Termo-formado tarr(2)	16,8797954	22
Termo-formado tarr(3)	115,6905371	152
Termo-formado tarr(4)	5,869565217	8

Se trabajó con la potencia nominal que utilizaría la máquina.

La sección de los conductores de acuerdo son escogidos de acuerdo al criterio del 75 % de su capacidad nominal en la siguiente tabla se detalla la corriente que el conductor seleccionado soporta en estado nominal e incluso por 10 segundos la sobre corriente de cortocircuito citada en el ANEXO 1.

11.7 Corrientes máximas de acuerdo a las máquinas en estudio.

Los termo magnéticos fueron diseñados en base a la $7 \cdot I_n$, siendo protegido por guarda motores o en su defecto reduciendo estos arranques por arranques suaves cuando los motores sean de gran potencia.

Tabla 11.16. Corrientes de arranque de motores.

TERMOMAGNÉTICOS PARA MOTORES			
MÁQUINA	KVA Motor	I(nom) por fase (A)	Arranque
Inyect. Form bot 1	28,61892583	37,6	263
Inyect. Form bot 2	28,61892583	37,6	263
Inyect. Form bot 3	28,61892583	37,6	263
Inyect. Form bot 4	28,61892583	37,6	263
Secadora 1	0	0,0	0
Secadora 2	0	0,0	0
Secadora 3	0	0,0	0
Secadora 4	0	0,0	0
I Sopladora 1	57,54475703	75,5	529
I Sopladora 2	64,1943734	84,2	590
Sopladora pet	2,557544757	3,4	23
Termo-formado vasos	5,57544757	7,3	51
Termo-formado tarr(1)	102,3017903	134,2	940
Termo-formado tarr(2)	3,836317136	5,0	35
Termo-formado tarr(3)	11,12531969	14,6	102
Termo-formado tarr(4)	0	0,0	0

Se trabajó con la potencia nominal que utilizaría la máquina.

11.8 Cálculo de conductores y termo-magnéticos

Con el estudio de carga previo se puede dimensionar los conductores y las protecciones necesarias para las nuevas cargas que se conectaran a los tableros de comando.

Para el sistema de protecciones se utilizó el programa melshort 2 patrocinado por Mitsubishi, este programa permite dimensionar los termo magnéticos necesarios para la instalación. Cabe destacar que las protecciones se las realiza en cascada es decir teniendo en cuenta las cargas, conductores y tableros respetivamente.[28, pp. 7-17]

Este programa permitió dimensionar además de los termo magnéticos, los conductores por capacidad de conducción teniendo en cuenta que no trabajarán al 100 % de su capacidad, las protecciones usadas se puede observar en las curvas de disparo en tiempos cuando se supere la corriente especificada. ANEXO 2

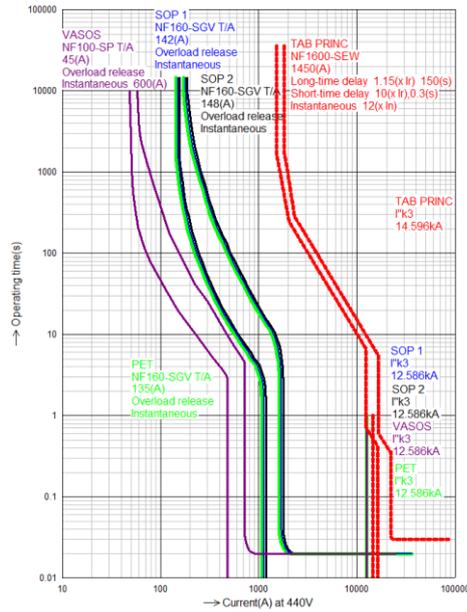


Ilustración 11.17. Curvas de disparo de termomagnéticos.

El programa determina la caída de voltaje máxima (no supera el 5%) de caída de voltaje con lo que permite seleccionar el mejor conductor, pero con esto no quiere decir sobredimensionándolo sino de acuerdo a la protección aguas arriba.

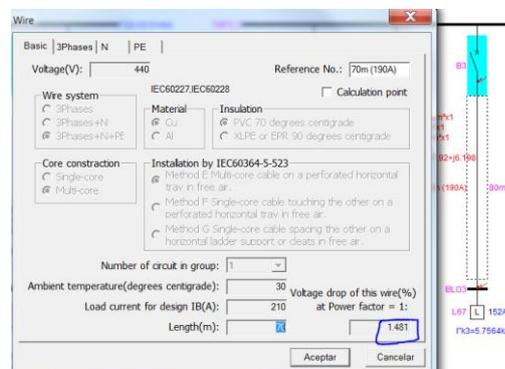


Ilustración 11.18. Caída de voltaje en Melshort.

En el Anexo 2 se puede visualizar el circuito con sus respectivas protecciones además los calibres de conductores, las curvas características de cada termo magnético así como un reporte detallado de los componentes y sus características propias. Cabe destacar que son materiales que se los puede encontrar en el catálogo de Mitsubishi.

11.9 Cálculo del sistema de puesta a tierra para el nuevo galpón de la fábrica Inplastico.

Para realizar el cálculo final del sistema mallado de puesta tierra el cual pretende proteger al personal y maquinaria del nuevo galpón ante sobre corrientes, voltajes de paso y toque, descargas atmosféricas; ocasionadas por distintas faltas que se han venido analizando normativas nacionales e internacionales para la composición final del sistema de protección que podrán variar en sus dimensiones, profundidades, calibres de conductores, disposición e incluso alteración del suelo.

11.10 Corriente de cortocircuito máxima en el nuevo galpón.

Como se describió en el desarrollo del tema las corrientes de cortocircuito pueden generarse por distintos factores este caso particular se denotó que la corriente de falla de mayor aporte se ubica en los bornes secundarios de nuestro transformador. (Anexo 9)

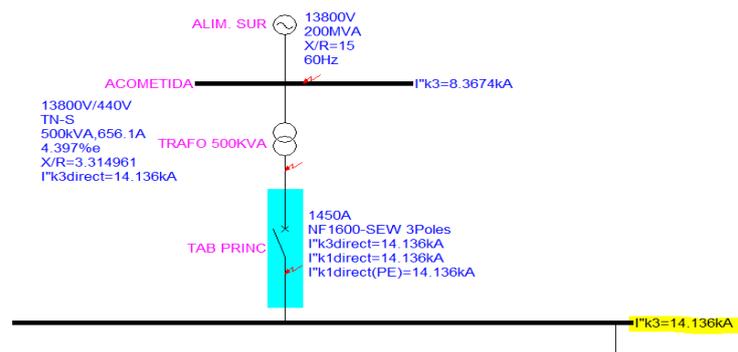


Ilustración 11.19. Corriente de cortocircuito máximo en el tablero principal.

Cálculo corrientes de cortocircuito máximo

En este punto se ha tomado en cuenta la norma IEC 60076-5 además el red book de la IEEE, donde nos muestra tablas de relaciones de resistencia e impedancia de transformadores y redes de distribución así como la potencia de cortocircuito de alimentadores cuando su valor no es conocido. Anexo 3.

Mediante los datos propios de la fábrica en estudio se procede a calcular la corriente máxima de cortocircuito que en el caso de INPLASTICO es en la barra del secundario del transformador.

Tabla 11.17 Datos eléctricos de la empresa Inplastico.

DATOS DE LA RED ELÉCTRICA		
Red de distribución		
Nivel de tensión	13,8	KV
Potencia de cortocircuito	500	MVA
Relación X/R	15	pu
Transformador		
Potencia nominal	500	KVA
Impedancia de cortocircuito	4	%
Tensión del primario	13800	V(fase-fase)
Tensión del secundario	440	V(fase-fase)
Pérdidas en el cobre	5500	W
Red de baja tensión		
Nivel de tensión	440	V
Corriente nominal	656,079	A
Cable de acometida	4/0	AWG Cu
Longitud de red	30	m

Las valores obtenidos se los puede obtener, en el Anexo 3 para redes de suministro con datos no conocidos.

Distribuidor

$$Z_1 = \frac{c * V^2}{s}$$

$$Z_1 = \frac{1.1 * 13,8 * 10^3}{500 * 10^6} = 0.418 \Omega$$

$$X_1 = 15 * R_1 = 417,07 m\Omega$$

$$R_1 = \frac{Z_1}{15,0333} = 27,80 m\Omega$$

Estos valores referidos al secundario del transformador

$$K = \frac{V_{MT}}{V_{BT}} = 31,36$$

$$R_1 = \frac{27,80 m\Omega}{31,36^2} = 0.028 m\Omega$$

$$X_1 = \frac{417,07 m\Omega}{31,36^2} = 0.4240 m\Omega$$

Transformador

$$Z_2 = \frac{4}{100} * \frac{440^2}{500 * 10^3} = 15 m\Omega$$

$$R_1 = \frac{5500 \text{ w}}{3 \cdot 656,08^2} = 4,26 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \sqrt{15^2 - 4,26^2} = 14,38 \text{ m}\Omega$$

Red de baja tensión.

$$R_3 = 0,207 \text{ }\Omega/\text{km} * 0,03 \text{ km} = 6,21 \text{ m}\Omega$$

$$X_3 = 0,167 \text{ }\Omega/\text{km} * 0,03 \text{ km} = 5,01 \text{ m}\Omega$$

El conductor de la acometida es número 4/0 por lo que según el Anexo 4 los valores de resistencia y de inductancia son propios de cada conductor, así también se calcula para los conductores de fase y tierra, (2/0) para ambos.

$$R_{4T} = 0,328 \text{ }\Omega/\text{km} * 0,015 \text{ km} = 4,92 \text{ m}\Omega$$

$$X_{4T} = 0,167 \text{ }\Omega/\text{km} * 0,015 \text{ km} = 1,84 \text{ m}\Omega$$

Habiendo calculado las impedancias de cada conductor hasta el tablero principal, del nuevo galpón se realiza la sumatoria de las impedancias hasta el transformador.

$$R_{3F} = 0,208 + 4,26 + 6,21 + 4,92 = 15,42 \text{ m}\Omega$$

$$X_{3F} = 0,424 + 14,38 + 5,01 + 1,84 = 21,65 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{3F} = \sqrt{15,42^2 - 21,65^2} = 26,58 \text{ m}\Omega$$

Entonces la corriente de cortocircuito simétrico, en el secundario del transformador está dado por la siguiente expresión para el estado estable.

$$I_{CC} = \frac{1,1 * 440}{\sqrt{3} * 26,58 * 10^{-3}} = 10513,07 \text{ A}$$

$$I_p = \sqrt{2} * 10513,07 = 14867,73 \text{ A}$$

Mientras que para el estado transitorio es afectado por la constante para el estado transitorio.

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{-\frac{3R}{X}} = 1,14$$

$$I_K = \sqrt{2} * 10513,07 * 1,14 = 16884,89 \text{ A}$$

Corriente de falla afectada por el factor de decremento

Mediante esta corriente de cortocircuito podemos dimensionar el conductor que permita la canalizar la máxima corriente que pueda generarse hacia nuestra malla de tierra que será ubicada a una distancia aproximada de 15 metros del centro de transformación.

La corriente de cortocircuito es afectado por el factor de decremento que significa la relación del momento que se produce la falla y además el tiempo en que tarda en retornar a estado normal. [29]

$$D_f = \sqrt{\left(1 + \frac{T_a}{T_c}\right) \left(1 - e^{-\frac{2t_c}{T_a}}\right)}$$

$$T_a = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f}$$

$$I_f = D_f * I$$

Donde

D_f Factor de decremento

T_a Tiempo de apertura de protección.

T_c Tiempo de corte.

$\frac{X}{R}$ Relación entre impedancia y resistencia.

I corriente de falla monofásica en el secundario y $\frac{X}{R}$ es la relación que se puede asumir como la propia del transformador en estudio, además se considera un 4% de la impedancia total del mismo.

$$I_f = D_f * I$$

$$T_a = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f}$$

$$T_a = 3.31496 * 0.00265258$$

$$T_a = 0.00879$$

Donde

I_f Intensidad de falla final.

I Intensidad de falla monofásica

El tiempo de corte (T_c) debe ser el tiempo en que la protección en caso de ser necesario actué (t_a) sin permitir el daño a los equipos que se conectan a ella.

$$D_f = \sqrt{\left(1 + \frac{0.008793}{0.5}\right) \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0.5}{0.008793}}\right)}$$

$$D_f = 1.00875$$

Siendo la corriente de falla el factor de decremento multiplicado por la corriente de cortocircuito en el secundario del transformador

$$I_f = D_f * I$$

$$I_f = 1.00875 * 14867,73$$

$$I_f = 14997,82 \text{ A}$$

Esta será la corriente de cortocircuito de mayor aporte, por lo tanto se dimensionará el conductor que pueda transportar esta corriente a la malla de puesta tierra.

Cortocircuito Fase-Tierra

Es de notable trascendencia el estudio de corrientes de cortocircuito de este tipo que puede circular afectando a los agentes que ahí desarrollan sus actividades.

$$R_{FT} = 15,42 + 4,92 = 20,34 \text{ m}\Omega$$

$$X_{FT} = 21,65 + 1,84 = 23,49 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{FT} = \sqrt{20,34^2 - 23,49^2} = 31,07 \text{ m}\Omega$$

Entonces la corriente de cortocircuito a tierra simétrico, en el secundario del transformador está dado por la siguiente expresión para el estado estable.

$$I_{CC} = \frac{1,1 * 440}{\sqrt{3} * 31,07 * 10^{-3}} = 8893,81 \text{ A}$$

$$I_p = \sqrt{2} * 8893,81 = 12719,16 \text{ A}$$

Mientras que para el estado transitorio es afectado por la constante para el estado transitorio

$$K = 1,02 + 0,98 * e^{-\frac{3R}{X}} = 1,087 \text{ A}$$

$$I_K = \sqrt{2} * 8893,91 * 1,087 = 14102,609 \text{ A}$$

En el diseño presentado por el programa Mitsubishi se puede evidenciar una corriente de cortocircuito fase tierra [27, p. 14] que se lo identifica en el Anexo 8. Este cálculo permite

denotar que las impedancias son sumadas en serie logrando obtener el valor que arroja Melshort en el estado más crítico, aunque sea de poca duración

11.11 Sección mínima del conductor para puesta tierra

Previamente dimensionado la corriente de cortocircuito el conductor que debe soportar este transitorio debe ser el conductor de tierra, en el momento de dirigir tal corriente de cortocircuito se producirá un efecto térmico elevado que dependerá de gran manera la utilización de un calibre adecuado que presente una resistencia menor a la de los conductores de la instalación.

La norma [29] cita que el calibre mínimo para la conducción de la corriente de falla es el 2/0 AWG, a continuación se detalla el calibre mínimo de sección suficiente que cumpla con la normativa vigente, de acuerdo a los datos propios del lugar de trabajo.

$$A_{MCM} = I_F \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{T_{CAP}}{t_C * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde

I_F Corriente de falla asimétrica RMS en kVA. Se usa la más elevada encontrada.

A_{MCM} Área del conductor.

T_m Máxima temperatura disponible °C (temperatura crítica)

T_a Temperatura ambiente °C

α_r Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia 1/°C.

$K_0 = 1/\alpha_0$

$\alpha_0 =$ Coeficiente térmico de resistividad °C

t_C Duración de la corriente

T_{CAP} Capacidad térmica por unidad de volumen.

De esta manera podemos dimensionar el calibre del conductor tomando en cuenta el tipo de falla y el tiempo en el que esta se logra despejar, con esto se logra alargar la vida útil del conductor, delimitando su temperatura y lo mejor censando las corrientes peligrosas despejándolas por sus protecciones antes que el calor y la temperatura deteriore aislamientos y destrucción de materiales.

$$A_{MCM} = I_F * k_f * \sqrt{t_C}$$

k_f que es la constante del material a T_a 40 °C

Aproximadamente el tiempo de despeje de la falla es $T_f = T_c = 0.5$ s. y por lo general se utiliza conductor de cobre dado estas condiciones.

$$A_{MCM} = 14,99782kA * 7.06 * \sqrt{0.5}$$

$$A_{MCM} = 74,87 \text{ MCM}$$

El valor de 7.06 es tomado de la constante de los materiales conductores [29, p. 34] y posteriormente se tomara en cuenta la sección de los conductores óptimos según el calibre de conductores. Tal calibre es seleccionado ya que cumple con las características de falla asimétrica así como con los requerimiento de esfuerzo mecánico Anexo 6.

El valor sección necesaria puede satisfacerse con el calibre 1/0, pero como la norma [29, p. 34] indica que la sección mínima es 2/0 (Anexo 7) podemos ver que la sección del calibre 2/0 es de $67,44 \text{ mm}^2$, que conduce una corriente de hasta 1000 amperios y sabiendo que la corriente por conductor en los bornes secundarios del transformador.

$$I_n = \frac{500 \text{ KVA}}{0,44 \text{ KV} * 1,73}$$

$$I_n = 656.85 \text{ A}$$

Que esta correcto si el conductor que puede transportar 1000 A al 100%, pero no debe ser así se lo calcula solo para transportar corriente al 70% quedándonos una corriente de 700 A.

11.11.1 Cálculo mediante tabla de Excel ELEPCO

Corriente de falla en el secundario del transformador.

$$I_f = \frac{I_0 * 100}{Z_T}$$

$$I_0 = \frac{500000 \text{ VA}}{440 \text{ V}}$$

$$I_0 = 1136,36 \text{ A}$$

Donde

Z_T = Impedancia del transformador (4,397%) valor tomado de Melshort

$$I_f = 25843,98 \text{ A}$$

$$A_{CM} = \frac{I_f}{\sqrt{\frac{\log\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}{33 * t}}}$$

$$A_{CM} = 419832,51 \text{ CM}$$

$$A_{mm^2} = 41,983$$

El valor sección necesaria puede satisfacerse con el calibre 1/0, como la norma [29, p. 34] indica que la sección mínima es 2/0 (Anexo 7) podemos ver que la sección del calibre 2/0 es de $67,44 \text{ mm}^2$, que conduce una corriente de hasta 1000 amperios y sabiendo que la corriente por conductor en los bornes secundarios del transformador.

$$I_n = \frac{500 \text{ KVA}}{0,44 \text{ KV} * 1,73}$$

$$I_n = 656.85 \text{ A}$$

Que esta correcto si el conductor que puede transportar 1000 A al 100%, pero no debe ser así, se lo calcula solo para transportar corriente al 70% quedándonos una corriente de 700 A.

11.12 Resistividad que presenta el suelo de la fábrica Inplastico.

Mediante la utilización del termómetro marca EXTECH 382152 se realizó la medida correspondiente de resistividad del terreno mediante la utilización de una varilla de cooperweld y sus dos picas.



Ilustración 11.20. Telurómetro marca EXTECH 382158.

Mediante el modelo de variación de la profundidad, ubicando las picas auxiliares se procedió a distanciarlas a 6 y 12 de la varilla de cooperweld que en primera instancia se la introdujo a 15 cm dándonos una resistividad de 2000Ω , a 80 cm 590Ω , y así hasta introducir nuestra varilla una profundidad de 2.8 m dándonos una resistencia final de menor a los 94Ω , y basándonos en la (tabla 5) podemos decir que estamos localizados en un estrato pedregoso y arenas secas.

11.12.1 Resistencia mínima de puesta a tierra.

La resistencia que se debe obtener al hacer un arreglo de acuerdo a la norma NEC en su artículo 250 establece que para subestaciones es de 1 Ω , mientras que para industrias, plantas en general no debe superar 5 Ω y para sistemas en general la resistencia de malla de puesta a tierra no debe superar 25 Ω . [24, p. 82]

Tabla 11.18 Resistencia mínima en sectores [24, p. 82].

Lugar de instalación	Resistencia mínima Ω
Subestación.	1
Industria.	2 a 5
Comercio y residencia.	< 25

11.12.2 Resistencia de una varilla de cooperweld.

Normalmente para una instalación de puesta a tierra en nuestro país se ha venido utilizando tanto en residencias así como industrias varillas de cooperweld con dimensiones expresadas en la (Ilustración 2) Estas varillas de cooperweld ofrecen cierta resistencia que para cálculos finales de resistencia de malla es tomada en cuenta en su diámetro y longitud.

Como se explicó en la ecuación 1 de la resistividad de los materiales varía, es por esto que se presenta la resistencia que ofrece la varilla que posteriormente se implementará en la malla de puesta a tierra.

El electrodo que se utiliza tiene una longitud de 1,80 m, un diámetro de sección de 16 mm es decir tendrá un radio de 0.008 m. se considera que es de cobre por tal motivo la resistividad del cobre es de $1.70 \times 10^{-8} \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}$.

$$\rho = R \frac{L}{A}$$

Tomando en cuenta la ecuación del área de un cilindro se proyecta la resistencia propia del material.

$$R = 1.70 \times 10^{-8} \Omega \text{m} \frac{1,8 \text{ m}}{2.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$R = 1.5219 \times 10^{-4} \Omega$$

11.12.3 Resistividad del terreno utilizando una varilla de cooperweld enterrada en el suelo de la fábrica INPLASTICO

Para la composición de la malla de puesta a tierra el electrodo que se utiliza para medir la resistividad del terreno, entregará la resistencia de acuerdo a la ecuación del método IEEE 81 esta resistividad será el primer paso para realizar el correcto dimensionamiento.



Ilustración 11.21. Electrodo cooperweld para malla.

Considerando el área y la longitud del electrodo se procederá mediante cálculos de exactitud, a una inmediata solución.

$$\rho = \frac{2 * \pi * L * R}{(\ln(\frac{4 * L}{r}) - 1)}$$

Donde

R Resistencia medida por el telurómetro.

ρ Resistividad propia del suelo.

L Longitud total del conductor.

r radio del conductor.

$$\rho = 264 \Omega m$$

Valor obtenido cuando se trabaja con una resistencia de 94 Ω , con varillas de 5/8 de 1,8 metros y la malla situada a 1 metro desde la superficie.

11.13 Cálculo de Resistencia de un sistema del puesta a tierra.

El método a utilizar depende de los criterios que se desee contemplar, la IEEE en normativas anteriores respecto a puestas a tierra viene desarrollando formas más sencillas pero a la vez precisas con el fin de indagar una malla de dimensiones necesarias que satisfaga las

necesidades básicamente de la industria, así pues la ANSI/IEEE std. 81 – 1983, IEEE std 80/81 2000. [29, pp. 8-13]

$$R_G = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + H * \sqrt{20 * A}} \right) \right]$$

Donde

R_G Resistencia de tierra.

ρ Resistividad propia del suelo.

L_T Longitud total del conductor

A Área del terreno

H Profundidad

Valida sus investigaciones de los sistemas de puesta a tierra para asegurar la integridad física de las personas y la protección apropiada a equipo y maquinaria.

11.13.1 Método IEEE 80

La menor resistividad obtenida en la lectura del telurómetro fue de 94 Ω , mediante el método de cálculo rápido de la norma IEEE 80[29, p. 118], la cual se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$L_C = M_1 * L_1 + M_2 * L_2$$

Donde

M Numero de varillas a lo ancho y largo.

L Dimensiones del terreno.

L_C Longitud del conductor

Esta ecuación toma en cuenta los valores de distribución de las picas de acuerdo al área del terreno en estudio, longitud del conductor soldado en los cabezales de las varillas y la profundidad de las varillas que en este caso lo haremos a 1 m de la superficie.

$$L_T = L_C + N * L_V$$

Donde

N Numero de varillas.

L_V Longitud de la varilla.

$$R_G = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + H * \sqrt{20 * A}} \right) \right]$$

La cual toma valores del propio terreno en estudio, pudiendo indagar y hacer correcciones optimas que mejoraran las condiciones de servicio del sistema final. El cálculo realizado arroja un valor de resistencia de tierra mediante fórmula de Sverak.

$$R_G = 22,43 \Omega$$

Que es un valor fuera del rango para industrias, entonces se pretende llegara los 5 Ω mínimo, se lo puede lograr mediante mejora de terreno en este caso ya que el espaciamiento de varillas es limitado de acuerdo al Anexo 9.

Resistencia de tierra mediante método IEEE – 80

Tabla 11.19. Características de la malla con 6 varillas y 264 Ω m de resistividad.

CÁLCULO IEEE-80	
Profundidad	1
Resistividad	264
Área	32
Largo	8
Ancho	4
# varillas a lo largo	3
# varillas a lo ancho	2
Distancia entre varillas	4
Núm. de electrodos	6
Longitud varilla	1,8

Tabla 11.20. Resistencia de malla con 6 varillas y 264 Ω m de resistividad.

RESISTENCIA DE TIERRA	
Longitud del conductor	32 m
Longitud total conductor	42,8 m
Resistencia de Tierra RG	22,43 Ω

Por lo que se puede deducir que este valor no satisface la resistencia mínima del suelo, en consecuencia se debe mejorar la calidad del suelo con el fin de obtener una resistividad menor.

Mejora del suelo

Tomando en consideración la tabla 7 se asume que la resistividad podría reducirse mediante dosis de THOR - GEL a un rango aproximado a los 20 Ω de resistencia de tierra por lo que la resistividad nueva resulta un valor.

$$\rho = 56,35 \Omega\text{m}$$

Repitiendo el nuevo cálculo con la resistividad, aproximada se puede deducir que la tabla quedará de la siguiente manera.

Tabla 11.21 Características de la malla con 6 varillas y 20 Ω de resistividad.

CÁLCULO IEEE-80	
Profundidad	1
Resistividad	56,35
Área	32
Largo	8
Ancho	4
# varillas a lo largo	3
# varillas a lo ancho	2
Distancia entre varillas	4
Núm. de electrodos	6
Longitud varilla	1,8

En la tabla 32 se puede evidenciar que al bajar la resistividad del terreno, la tabla 35 muestra que la resistencia obtenida está dentro de los rangos permisibles de resistencia mínima por lo que se evalúa las magnitudes eléctricas generadas por la malla .

Tabla 11.22 Características de la malla con 6 varillas y 30 Ω de resistividad.

RESISTENCIA DE TIERRA	
Longitud del conductor	32 m
Longitud total conductor	42,8 m
Resistencia de Tierra RG	4,79 Ω

11.13.2 Método de Laurent y Niemann

Determina un valor de resistencia de tierra superior ya que no es exacto pero se lo puede tomar en cuenta para valores de resistencia cercanos a la real.

$$R_G = 0.443\rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{A}}\right]$$

$$R_G = 4,99 \Omega$$

Mejor solución de la malla de puesta tierra.

El número definitivo de varillas queda determinado por el área total del terreno en donde se implementará la malla de puesta tierra, tomando las dimensiones de la (tabla 30) se pronostica que son 6 varillas de cooperweld de 5/8 con una altura de 1,80 m recubiertas en cobre por proceso de electrólisis. De forma que la malla de puesta a tierra será rectangular penetrando el subsuelo a 2.8 m de la superficie para recoger la mejor resistividad, adicionalmente se extenderá un conductor arrollado sobre las picas soldado mediante proceso exotérmico, con el conductor de tierra 2/0 que cumple con los parámetros técnicos y mecánicos.

El máximo ahorro de insumos para la malla de puesta tierra, se puede pudo obtener al colocar 6 varillas distribuidas a 4 metros de separación de forma rectangular dándonos un valor de resistencia menor a los 5 Ω programados, pero realizando preparación del terreno con aditamentos externos.

11.14 Tensiones de paso y de contacto del sistema de puesta tierra

Voltaje máximo de la malla de tierra en falla.

Cuando suceden fallas y en el caso de ser la de mayor aporte se hace necesario el cálculo del voltaje creado por la misma para verificar si el diseño correspondiente está cumpliendo con los valores solicitados.

$$GPR = I_G * R_G$$

$$I_G = 1.9 * I_0$$

Donde

R_G Resistencia de tierra.

GPR Elevación de potencial de tierra en caso de falla.

Estos valores se calculan con el afán de indagar si la corriente de falla que se pueda producir en un instante determinado no afecte a las personas ni a la maquinaria, enviando estas magnitudes peligrosas a la malla previamente diseñada.

I_0 Corriente nominal en el secundario del transformador.

$$I_0 = \frac{500 \text{ KVA}}{0,44 \text{ KV}}$$

$$I_0 = 1136,36 \text{ A}$$

I_G = Corriente de falla en el secundario del transformador.

$$I_G = 1136,36 * 1,9$$

$$I_G = 2159,08$$

$$GPR = 10342,01 \text{ V}$$

Este valor solo es el presente en la malla de puesta a asumiendo que el valor del potencial crece en un 90% en la malla.

Voltaje de paso y de contacto tolerables por el cuerpo de acuerdo a la malla.

Mientras que las tensiones de paso expresadas por la ecuación determina que hay una masa no conductiva en la superficie necesaria para la protección adicional de las personas que puedan transitar por el lugar.

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0,09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{56,35}{3000}\right)}{2 * 0,25 + 0,09}$$

$$C_s = 0,855$$

El 3000 muestra una capa superficial de resistividad muy elevada por lo general varía entre los 2000 y 5000 Ωm , con un espesor aproximado de 0.1 y 0.15 m. [29, p. 27]

El diagnóstico se hace considerando un individuo de 50Kg, se procede a calcular la tensión de paso.

$$V_{P \text{ tolerable}} = \frac{(1000 + 6 * 0,85 * 3000) * 0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$V_{P \text{ tolerable}} = 2674 \text{ V}$$

De igual manera el voltaje de contacto

$$V_{C \text{ tolerable}} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0.116}{\sqrt{T_C}}$$

$$V_{C \text{ tolerable}} = 791,53 \text{ V}$$

En el caso de la acometida principal en la barra del transformador la corriente de falla es 2159,08 A de corriente simétrica en su secundario. Por lo que los valores soportables por el cuerpo humano no debe superar a la malla de puesta a tierra y de hacerlo se busca soluciones como separación de varillas mejor preparación del terreno mejora de capas superficiales, etc.

Mientras tanto que el voltaje de la malla de puesta a tierra, considerando la falla máxima que aporta el sistema quedara expresado por

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_M}$$

$$L_M = L_C + [1,55 + 1,22 \left(\frac{L_v}{\sqrt{(L_x^2 + L_y^2)}} \right) * L_R]$$

Donde

L_M Longitud de la malla. (m)

L_R Longitud de las varillas por el número de varillas.

$$L_M = 51,39 \text{ m}$$

K_m = Coeficiente que toma en cuenta el número de conductores en paralelo, su diámetro y la profundidad de enterramiento.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \ln \left(\frac{D^2}{16 * h * d} \right) + \frac{1}{\pi} * \ln \left[\frac{3}{4} * \frac{5}{6} \right]$$

Y el (n) número efectivo de conductores en paralelo se da de acuerdo a la composición de la malla de puesta a tierra.

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

Para n_b, n_c , (n_d es 1 en mallas cuadradas o rectangulares.)

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$$

$$n = 4$$

n_c y n_d son tomados como la unidad para mallas rectangulares como el que es nuestro caso.

k_i = queda definido como:

$$k_i = 0.65 + 0.172 n$$

Mediante las ecuaciones anteriores se deduce que el valor de K_m , k_i , y n .

$$K_m = 0.60$$

$$k_i = 1.34$$

$$n = 4$$

En consecuencia la tensión de la malla de tierra K_m factor geométrico de la malla y el factor de K_i factor de corrección para efecto de conductores, queda determinado.

Voltaje máximo en caso de falla.

$$E_m = 1903,59 \text{ V}$$

Donde

E_m Tension de la malla en caso de falla. (v)

Considerando que el voltaje de malla es < que el voltaje de paso tolerable, el diseño de la malla de puesta a tierra cumple con los parámetros mínimos de seguridad, así como la resistencia programada de la malla de puesta a tierra.

Voltaje de paso real

$$E_p = \frac{\rho * K_s * K_i * I_G}{0.75 * L_c + 0.85 * N * L_v}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D * h} + \frac{1}{D} * (1 - 0.52^{n-2}) \right]$$

$$K_s = 0,297$$

Donde

K_s Factor de espaciamento para tensión de paso.

$$E_p = 1459,31V$$

E_p Tensión de paso real en caso de falla. (v)

$$V_{P \text{ tolerable}} = 2674 \text{ V} > E_m = 1903,59 \text{ V}$$

En consecuencia se puede decir que el voltaje de paso real al momento de producirse la falla en la malla de puesta a tierra, es menor que el voltaje de paso tolerable por el individuo que está en la superficie cumpliendo con lo establecido con la norma IEEE-80.

11.15 Presupuesto total de materiales a utilizador en la malla de puesta tierra

Tabla 11.23. Materiales de la puesta a tierra.

Lista de materiales necesarios				
Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Precio/unidad (\$)	Precio total
Varilla cooperweld (5/8)	unidad	6	8	48
Conductor cobre 2/0 AWG PE	metros	100	9	900
Suelda exotérmica	unidad	6	9	54
Dirección Técnica	unidad	1	300	300
Gel aditivo para puesta a tierra	Saco de 12 Kg	6	25	150
Ripio	unidad	1	18	18
Mano de obra	unidad	1	1000	1000
Placa de bornes a tierra	unidad	1	30	30
Alquiler telurómetro	unidad	1	150	150
Adicionales	unidad	1	50	50
				2700

12 IMPACTOS

Técnicos

El uso de la malla de puesta tierra además de ser de gran ayuda para que los procesos de producción en la fábrica INPLASTICO, hace actuar a las protecciones impidiendo que sufran daños mayores los bobinas, niuelinas, tableros en general el material eléctrico alargando la vida útil de los mismos, además protege a un aproximado de 40 personas que desarrollan actividades en la empresa, impidiendo que los voltajes de paso y toque afecten en su integridad.

Sociales

Al controlar las fallas en el sistema interno de la fábrica los ruidos que serán emitidos a la red reducirán en gran medida esto le otorgara una mayor confiabilidad al sistema de alimentación

de la subestación San Rafael, además el dueño de la fábrica no tendrá sanciones por si en algún momento producto de fallas internas el sistema aguas arriba se ve afectado las mismas que son muy drásticas.

Económicos

Como en un principio del tema se habló el costo de la instalación de una malla de puesta a tierra es elevado, pero tomando en cuenta el aspecto social el costo por perdidas de maquinarias o por pérdidas de vidas resulta mucho mayor.

13 PRESUPUESTO

Tabla 13.1. Presupuesto de la investigación.

Presupuesto de la investigación				
Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Precio/unidad (\$)	Precio total
Transporte a la fábrica	veces	10	4	40
Comunicación	minutos	500	0,025	12,5
Alquiler de telurómetro	unidad	1	150	150
Impresos	unidad	500	0,08	40
Anillados	unidad	6	0,5	3
Empastados	unidad	2	15	30
Imprevistos	unidad	1	80	80
				355,5

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La corriente máxima de cortocircuito se registró entre la barra del tablero principal y el secundario del transformador de distribución, por lo que la sección del conductor se calibró tomando en cuenta el factor de decremento y la constante del material de la malla por lo que el calibre resultó el 2/0 AWG.
- Las mediciones de resistencia del suelo registradas con el telurómetro marca EXTECH 382152 a una profundidad de 0.15 m fue 590 Ω , mientras que a 2.80m fue de 94 Ω la cual se redujo utilizando 1 dosis de THOR – GEL en cada varilla se puede reducir la resistencia de malla a 20 Ω y por ende su resistividad a un valor de 57 Ω /m obteniendo un valor de resistencia de malla igual a 4,7 Ω que para la industria es adecuado.
- El diseño final de la malla de puesta a tierra quedó planificado por la ubicación de 6 varillas de cooperweld en disposición rectangular a una distancia de 4 metros cada una y soldadas mediante proceso exotérmico a un conductor de cobre 2/0 AWG, el terreno fue mejorado utilizando aditamentos externos.
- El costo de instalación posterior es 2700 dólares americanos, los mismos que serán invertidos de buena manera para dar seguridad tanto al personal de la fábrica inplastico y a los elementos de la instalación eléctrica.

RECOMENDACIONES

- La selección del conductor que llevara la máxima corriente de cortocircuito en caso de generarse debe ser lo más lineal posible, evitando las curvas innecesarias y los empalmes en todo su recorrido.
- Las capas superficiales del terreno deberían ser preparadas con materiales aislantes como el ripio o cemento luego de la instalación de la puesta a tierra dejando puntos de revisión adecuados, esto para evitar que la tensión de paso tolerable afecte a una persona.
- Analizar la disposición de los pararrayos que se pueden utilizar de acuerdo a la altura de los galpones, puesto que no constan de apantallamientos contra descargas atmosféricas.
- Realizar mediciones de resistencia de la malla una vez que esta se instale, con el fin de evaluar los cambios posibles en el terreno con el paso del tiempo y las condiciones climáticas, una vez al año.

15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Miguel de la Vega Ortega, Problemas de ingeniería de puesta a tierra, vol. 1, 3 vols. México: El corte inglés Laie, 2012.
- [2] Carlos Díaz Ibarra, «Consideraciones en el diseño de sistemas de redes de tierra.», Instituto Politécnico Nacional, México, 2010.
- [3] Carlos Lameda, «Puesta a tierra más que necesario», Issuu, 05-jul-2014. [En línea]. Disponible en: <https://issuu.com/arturolameda/docs/revista>.
- [4] Erico pentair, «Electrodo o varillas para tierra». 2016.
- [5] Mónica Brevis, «Revista HSEC - Implementación de sistemas de puesta a tierra», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=525>.
- [6] Revista Editores, «interruptores termomagnéticos | Editores», 08-jul-2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.editores-srl.com.ar/taxonomy/term/3275>. [Accedido: 08-jun-2018].
- [7] ACYEDE, «Cuadernillo técnico Nro. 3 | Toma de tierra y dispositivos de protección | Editores», 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ai/3/cuadernillo_tecnico.
- [8] Saludalia, «Lesiones producidas por la electricidad», Saludalia.com. [En línea]. Disponible en: <https://www.saludalia.com/urgencias/lesiones-producidas-por-la-electricidad>.
- [9] Revista Electroindustria, «La puesta a tierra», 2014.
- [10] Soto Ortiz, «Sistema de puesta a tierra en los cerros», 08-jul-2018. [En línea]. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2215/1436>.
- [11] Chilingua Johana y Guanoluisa Ernesto, «EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN AMBATO – SAMANGA Y SAMANGA - PILLARO A 69 KV PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO PARA PROPONER ALTERNATIVAS QUE PERMITAN MEJORAR EL SISTEMA», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2017.
- [12] Q. V. C. ORLANDO, «CENTRO COMERCIAL “MI BALCON”».
- [13] Asociación Española de Normalización, «Capítulo XXIII Puesta a Tierra», en Reglamento de Baja Tensión, Madrid, 2 de Agosto, p. 432.
- [14] Universidad de la República de Uruguay, «CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO», Uruguay, 2016.

- [15] M. Villarrubia, «Seguridad eléctrica: efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano», p. 9.
- [16] J Moreno G, D. Lasso Tárraga, y C. Fernández García, Instalaciones Eléctricas de Interiores. Madrid: Paraninfo, 2015.
- [17] J. Montaña, Teoría de puestas a tierra. Universidad del Norte, 2012.
- [18] R. G. Márquez, La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T. Marcombo, 1990.
- [19] Marguzterr, «Cemento conductivo». [En línea]. Disponible en: <http://www.marguzterr.com/>. [Accedido: 17-jul-2018].
- [20] C. E. C. ANDRANGO y C. A. P. PULAMARÍN, «ELABORACION DE UN MANUAL PARA EL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA».
- [21] Alejandra López, Medición de la Resistencia de un Sistema de Puesta a Tierra. .
- [22] Gerardo Moreno Ospina y Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra: Respuestas ante fallas eléctricas y rayos. Universidad de Antioquia, 2007.
- [23] Yalbert Palacios, Resistividad del Suelo - Métodos de Medición. 2016.
- [24] Sallam, A.A(Abdelhay) y OM P. MALIK, Electric Distribution Systems. Hoboken,New Jersey: John Wiley & sons, Inc, 2011.
- [25] Gerardo Fernández Guerrero, METODOLOGÍA_DE_LA_INVESTIGACIÓN. México: Universidad de Londres, 2015.
- [26] D. R. Gómez y J. V. Roquet, «Metodología de la investigación», p. 82.
- [27] T. DAVIES, Protection of Industrial Power Systems. Elsevier, 1996.
- [28] «DISEÑO-DE-SISTEMAS-DE-PUESTA-A-TIERRA-PARTIENDO-DE-UN-MODELO-BIESTRATIFICADO-DE-TERRENO-APLICANDO-UN-SOFTWARE-COMPUTACIONAL-EN-EL-SECTOR-INDUSTRIAL.pdf». .
- [29] J. S. R. CASTAÑO y E. A. C. PLATA, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF», p. 122.

16 ANEXOS

ANEXO 1 Reporte de protecciones y conductores en melshort y tablas de amperios máximo de conducción.

Termo magnéticos

Ref.No.	Operational voltage	Manu- facturer	Kind	Type of breakers	Pole	Rated current or Current setting	Long-time delay	Short-time delay	Instantaneous	Ics	Icu or Icn	Icu-back	Backup breaker	ON or OFF	Short-circuit current I _{k3direct}	Selected by
TAB PRINC	440V		MCCB(Electronic)	NF160-SEW	3	1450A	1.15xIr 150s	10xIr 0.3s	12xIn	43.00kA	85.00kA	-	-	ON	14.136kA	Icu
VASOS	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	45A	Fixed	-	600A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	12.253kA	Icu
SOP 2	440V		MCCB(T/A)	NF160-SGV T/A	3	148A	Fixed	-	Fixed	36.00kA	36.00kA	-	-	ON	12.253kA	Icu
SOP 1	440V		MCCB(T/A)	NF160-SGV T/A	3	142A	Fixed	-	Fixed	36.00kA	36.00kA	-	-	ON	12.253kA	Icu
PET	440V		MCCB(T/A)	NF160-SGV T/A	3	135A	Fixed	-	Fixed	36.00kA	36.00kA	-	-	ON	12.253kA	Icu
FOR B1	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	74A	Fixed	-	945A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
FOR B2	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	74A	Fixed	-	945A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
FOR B3	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	74A	Fixed	-	945A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
FOR B4	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	74A	Fixed	-	945A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
SEC 1	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	44A	Fixed	-	600A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
SEC 2	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	44A	Fixed	-	600A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
SEC 3	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	44A	Fixed	-	600A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
SEC 4	440V		MCCB(T/A)	NF100-SP T/A	3	44A	Fixed	-	600A	13.00kA	25.00kA	-	-	ON	10.385kA	Icu
B1	440V		MCCB(T/A)	NF250-SGV T/A	3	207A	Fixed	-	Fixed	36.00kA	36.00kA	-	-	ON	9.0828kA	Icu
B2	440V		MCCB(T/A)	NF100-CP T/A	3	28A	Fixed	-	375A	5.00kA	10.00kA	-	-	ON	9.0828kA	Icu
B3	440V		MCCB(T/A)	NF250-SGV T/A	3	190A	Fixed	-	Fixed	36.00kA	36.00kA	-	-	ON	9.0828kA	Icu
B4	440V		MCCB(Fix)	NF63-HV	3	10A	Fixed	-	Fixed	8.00kA	10.00kA	-	-	ON	9.0828kA	Icu

Conductores

Ref.No.	Operational voltage	Wire system	Material / Insulation / Ambient temp.	Core construction	Installation / Number of circuit	Load current IB / Voltage drop	Length	Core size(mm ²) xNumber	Current-carrying capacity Iz	Centre-line distance a	Resistance R	Reactance X	Impedance Z	Short-circuit current I _{k3} Force
40m (500A)	440V	3Phases	Cu PVC70deg. 30deg.	Single-Core	Method F 1	500A 0.5878%	40m	120x2	541.4A	19.00mm	0.07466mohms/m 2.986mohms 1.543%	0.4682mohms/m 1.873mohms 0.9673%	0.8812mohms/m 3.525mohms 1.821%	-
		120x2						541.4A	19.00mm	0.07466mohms/m 2.986mohms 0.000%	0.4682mohms/m 1.873mohms 0.000%	0.8812mohms/m 3.525mohms 0.000%		
		120x1						307.6A	19.00mm	0.1493mohms/m 0.000%	0.09363mohms/m 0.000%	0.1762mohms/m 0.000%		
90m (500A)	440V	3Phases	Cu PVC70deg. 30deg.	Single-Core	Method F 1	500A 1.323%	90m	120x2	541.4A	19.00mm	0.07466mohms/m 6.719mohms 3.471%	0.4682mohms/m 4.213mohms 2.176%	0.8812mohms/m 7.931mohms 4.097%	-
		120x2						541.4A	19.00mm	0.07466mohms/m 6.719mohms 0.000%	0.4682mohms/m 4.213mohms 0.000%	0.8812mohms/m 7.931mohms 0.000%		
		120x1						307.6A	19.00mm	0.1493mohms/m 0.000%	0.09363mohms/m 0.000%	0.1762mohms/m 0.000%		
70m (450A)	440V	3Phases	Cu PVC70deg. 30deg.	Multi-Core	Method E 1	450A 1.852%	70m	120x1	276.2A	17.29mm	0.1493mohms/m 10.45mohms 5.399%	0.08654mohms/m 6.058mohms 3.129%	0.1726mohms/m 12.08mohms 6.240%	-
		120x1						276.2A	17.29mm	0.1493mohms/m 10.45mohms 0.000%	0.08654mohms/m 6.058mohms 0.000%	0.1726mohms/m 12.08mohms 0.000%		
		120x1						276.2A	17.29mm	0.1493mohms/m 10.45mohms 0.000%	0.08654mohms/m 6.058mohms 0.000%	0.1726mohms/m 12.08mohms 0.000%		

Tabla de capacidad de conducción para conductores [29]

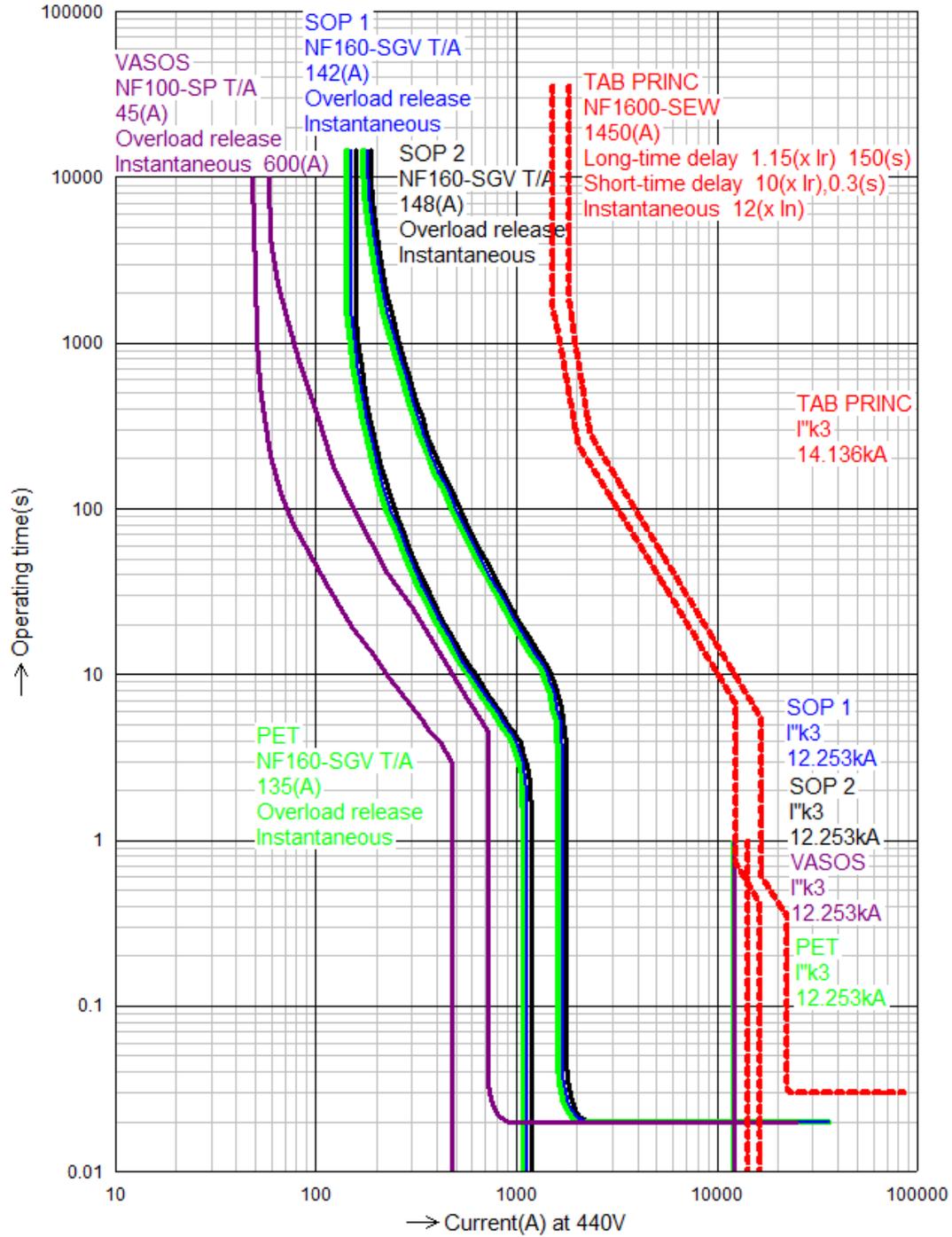
Capacidad del dispositivo automático de protección contra sobre corriente (A)	Cable de cobre mm2 (AWG)	Cable de aluminio mm2 (AWG)
15	2,082(14)
20	3,307(12)
30	5,26(10)
40	5,26(10)
60	5,26(10)
100	8,367(8)	13,3 (6)
200	13,3(6)	21,15 (4)
300	21,15(4)	33,62 (2)
400	33,62(2)	42,41 (1)
500	33,62(2)	53,48(1/0)
600	42,41(1)	67,43 (2/0)
800	53,48(1/0)	85,01 (3/0)
1000	67,43(2/0)	107,2 (4/0)
1200	85,01(3/0)	126,7 (250)
1600	107,2(4/0)	177,3 (350)
2000	126,7(250)	202,7 (400)
2500	177,3(350)	304 (600)
3000	202,7(400)	304 (600)
4000	253,4(500)	405,37 (800)
5000	354,7(700)	608 (1200)
6000	405,37(800)	609 (1200)

Tabla de capacidad de conducción para termo magnéticos [20].

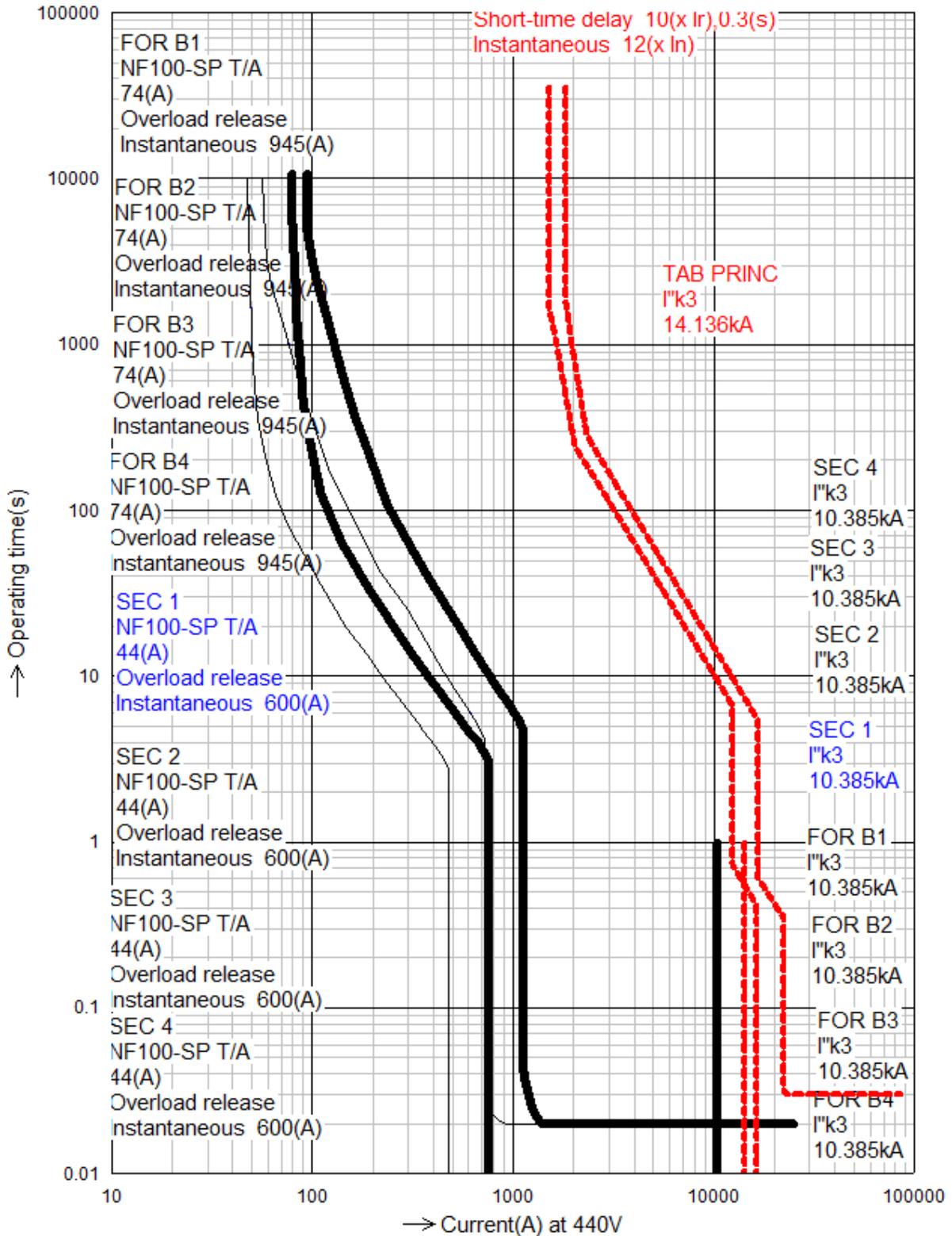
Breaker Size	Wire Size
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250kcmil
2500	350kcmil
3000	400kcmil
4000	500kcmil
5000	700kcmil
6000	800kcmil

ANEXO 2 Curvas de las protecciones en relación al tiempo de disparo.

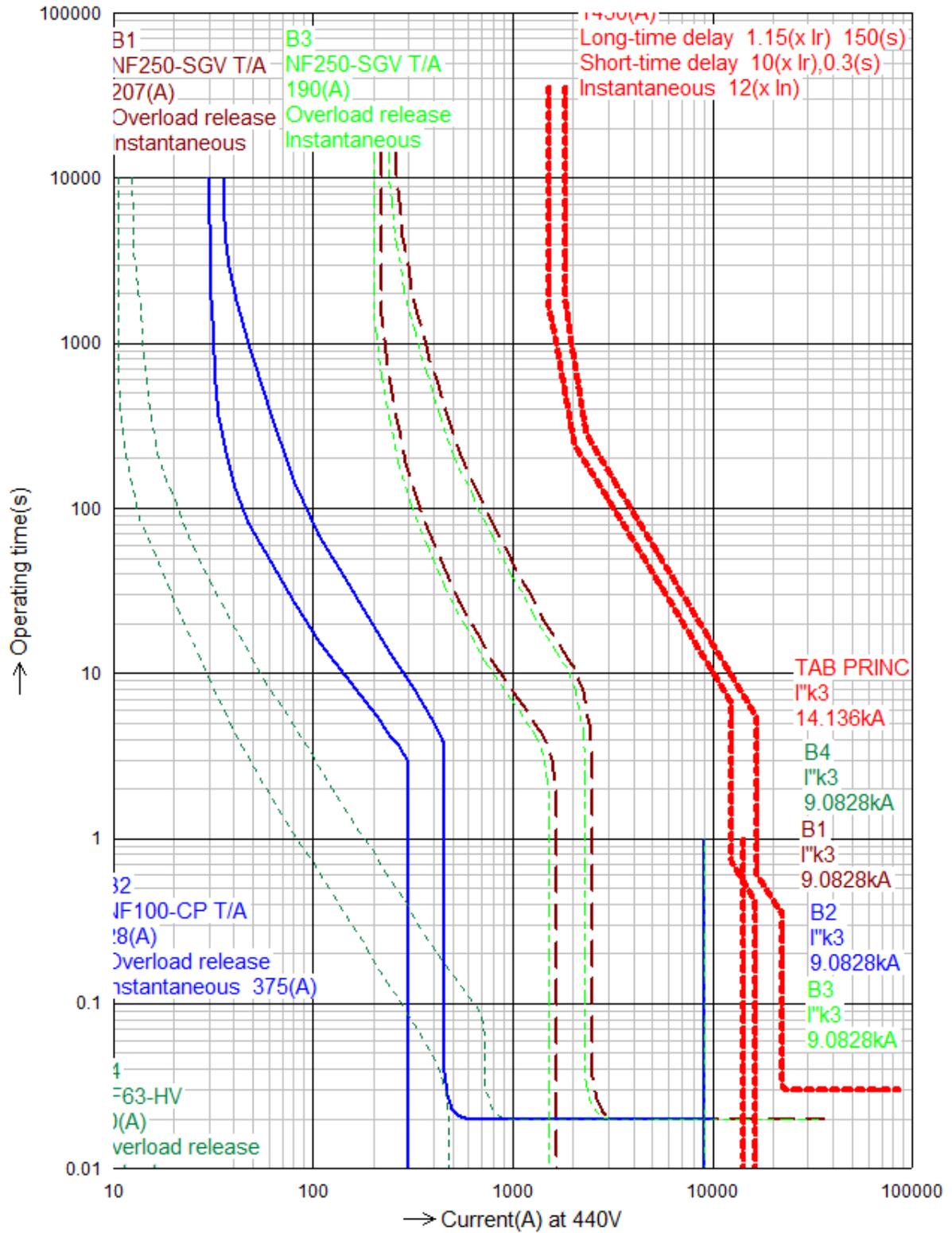
Tablero 1



Tablero 2



Tablero 3



ANEXO 3 Datos de red y de transformador para cálculo de corrientes de cortocircuito.

Porcentaje en pu de acuerdo al voltaje de la red

Table 1 – Recognized minimum values of short-circuit impedance for transformers with two separate windings

Short-circuit impedance at rated current	
Rated power kVA	Minimum short-circuit impedance %
Up to 630	4,0
631 to 1 250	5,0
1 251 to 2 500	6,0
2 501 to 6 300	7,0
6 301 to 25 000	8,0
25 001 to 40 000	10,0
40 001 to 63 000	11,0
63 001 to 100 000	12,5
Above 100 000	>12,5

NOTE 1 Values for rated power greater than 100 000 kVA are generally subjected to agreement between manufacturer and purchaser.

NOTE 2 In case of single-phase units connected to form a three-phase bank, the value of rated power applies to three-phase bank rating.

Potencia de cortocircuito de la red.

Table 2 – Short-circuit apparent power of the system

Highest voltage for equipment, U_m kV	Short-circuit apparent power MVA	
	Current European practice	Current North American practice
7,2; 12; 17,5 and 24	500	500
36	1 000	1 500
52 and 72,5	3 000	5 000
100 and 123	6 000	15 000
145 and 170	10 000	15 000
245	20 000	25 000
300	30 000	30 000
362	35 000	35 000
420	40 000	40 000
525	60 000	60 000
765	83 500	83 500

NOTE If not specified, a value between 1 and 3 should be considered for the ratio of zero-sequence to positive-sequence impedance of the system.

Datos para la red de distribución.

Table 1.2-2. Reactance X for E/X Amperes

System Component	Reactance X Used for		Typical Values and Range on Component Base	
	Short Circuit Duty	Close and Latch (Momentary)	% Reactance	X/R Ratio
2-Pole Turbo Generator	X	X	9 (7 – 14)	80 (40 – 120)
4-Pole Turbo Generator	X	X	15 (12 – 17)	80 (40 – 120)
Hydro Generator with Damper Wedges and Synchronous Condensers	X	X	20 (13 – 32)	30 (10 – 60)
Hydro Generator without Damper Windings	.75X	.75X	16 (16 – 50)	30 (10 – 60)
All Synchronous Motors	1.5X	1.0X	20 (13 – 35)	30 (10 – 60)
Ind. Motors Above 1000 hp, 1800 Rpm and Above 250 hp, 3600 Rpm	1.5X	1.0X	17 (15 – 25)	30 (15 – 40)
All Other Induction Motors 50 hp and Above	3.0X	1.2X	17 (15 – 25)	15 (2 – 40)
Ind. Motors Below 50 hp and All Single-Phase Motors	Neglect	Neglect	—	—
Distribution System from Remote Transformers	X	X	As Specified or Calculated	15 (5 – 15)
Current Limiting Reactors	X	X	As Specified or Calculated	80 (40 – 120)
Transformers				
OA to 10 MVA, 69 kV	X	X	8.0	18 (7 – 24)
OA to 10 MVA, above 69 kV	X	X	8.0 to 10.5 Depends on Primary Windings BIL Rating	18 (7 – 24)
FOA 12 to 30 MVA	X	X		20 (7 – 30)
FOA 40 to 100 MVA	X	X		38 (32 – 44)

Características del transformador

Características eléctricas		24 kV: D ₀ C _k (AB')										
		250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500(*)	
Potencia asignada [kVA]		20										
Tensión asignada (Ur)	Primaria [kV]	420										
	Secundaria en vacío [V]											
Grupo de Conexión		Dyn11										
Pérdidas en Vacío - P ₀ [W]	Lista D ₀	530	750	880	1030	1150	1400	1750	2200	2700	3200	
Pérdidas en Carga - P _k [W]	Lista C _k	3250	4600	5500	6500	8400	10500	13500	17000	21000	26500	
Impedancia de Cortocircuito (%) a 75°C		4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	
Nivel de Potencia Acústica L _{wA} [dB]	Lista D ₀	60	63	64	65	66	68	69	71	73	76	
Caida de tensión a plena carga (%)	cos φ = 1	1.37	1.22	1.16	1.11	1.19	1.22	1.25	1.24	1.22	1.23	
		cos φ = 0.8	3.33	3.25	3.21	3.17	4.44	4.47	4.49	4.48	4.47	4.47
	CARGA 100%	cos φ = 1	98.51	98.68	98.75	98.82	98.86	98.82	98.79	98.81	98.83	98.83
		cos φ = 0.8	98.15	98.36	98.44	98.53	98.58	98.53	98.50	98.52	98.54	98.54
Rendimiento (%)	CARGA 75%	cos φ = 1	98.76	98.90	98.96	99.02	99.06	99.04	99.01	99.03	99.04	99.04
		cos φ = 0.8	98.45	98.63	98.70	98.78	98.83	98.80	98.77	98.79	98.81	98.81

ANEXO 4 Resistencia e impedancia propia de los conductores.

AWG	R (Ω / Km)			X (Ω / Km)			Z (Ω / Km)		
	TW	TTU	RHH	TW	TTU	RHH	TW	TTU	RHH
0 MCM	PVC-PVC	RH,RHW			PVC-PVC	RH,RHW			
14	10,119	10,625	11,030	0,1669	0,1808	0,1808	10,120	10,626	11,032
12	6,364	6,682	6,937	0,1552	0,1696	0,1696	6,366	6,685	6,939
10	4,002	4,202	4,362	0,1443	0,1575	0,1575	4,004	4,204	4,365
8	2,157	2,643	2,743	0,1345	0,1575	0,1663	2,521	2,648	2,748
6	1,583	1,662	1,725	0,1322	0,1414	0,1493	1,588	1,668	1,731
4	0,996	1,046	1,086	0,1243	0,1319	0,1384	1,003	1,054	1,095
2	0,626	0,657	0,682	0,1168	0,1237	0,1299	0,636	0,668	0,694
1	0,492	0,517	0,536	0,1207	0,1319	0,1358	0,506	0,533	0,553
1/0	0,394	0,414	0,429	0,1168	0,1276	0,1309	0,411	0,433	0,448
2/0	0,312	0,328	0,340	0,1142	0,1233	0,1276	0,332	0,351	0,363
3/0	0,248	0,260	0,270	0,1115	0,1207	0,1233	0,271	0,286	0,297
4/0	0,198	0,206	0,213	0,1089	0,1168	0,1201	0,227	0,237	0,244
250	0,167	0,175	0,182	0,1109	0,1148	0,1237	0,200	0,209	0,220
300	0,139	0,146	0,151	0,1083	0,1119	0,1207	0,176	0,184	0,193
350	0,120	0,126	0,131	0,1066	0,1109	0,1191	0,160	0,168	0,177
400	0,105	0,110	0,114	0,1063	0,1102	0,1181	0,149	0,156	0,164
500	0,085	0,089	0,093	0,1043	0,1119	0,1142	0,134	0,143	0,147
600	0,071	0,074	0,077	0,1056	0,1102	0,1148	0,127	0,132	0,138
700	0,062	0,065	0,067	0,1043	0,1089	0,1132	0,121	0,127	0,131
750	0,058	0,061	0,063	0,1030	0,1079	0,1123	0,118	0,124	0,128

ANEXO 5

Corrientes de cortocircuito en las barras de cada máquina entregado por melshort.

REFERENCIA	Voltaje de operación	Fases	Corriente de cortocircuito I" k3
ACOMETIDA	13800V	3Fases	8.37 KA
BARRA PRINCIPAL	440V	3Fases	14,14 KA
TMPG1	440V	3Fases	12,25KA
TMPG2	440V	3Fases	10,38 KA
TMPG3	440V	3Fases	9,08 KA
TERMO-FORMADO VASOS	440V	3Fases	9,14 KA
SOPLADORA PET	440V	3Fases	8,82 KA
INYECTORA SOPLADORA 1	440V	3Fases	0 KA
INYECTORA SOPLADORA 2	440V	3Fases	9,30 KA
TERMO-FORMADO TARRINAS (1)	440V	3Fases	6,82 KA
TERMO-FORMADO TARRINAS (2)	440V	3Fases	2,90 KA
TERMO-FORMADO TARRINAS (3)	440V	3Fases	5,70 KA
TERMO-FORMADO TARRINAS (4)	440V	3Fases	2,32 KA
SECADORA 1	440V	3Fases	5,33 KA
SECADORA 2	440V	3Fases	4,99 KA
SECADORA 3	440V	3Fases	4,68 KA
SECADORA 4	440V	3Fases	4,40 KA
INYECT. FORM BOTELLA 1	440V	3Fases	5, 33KA
INYECT. FORM BOTELLA 2	440V	3Fases	4,99 KA
INYECT. FORM BOTELLA 3	440V	3Fases	4,68 KA
INYECT. FORM BOT ELLA 4	440V	3Fases	4,40 KA

ANEXO 6 Tabla con características de las varillas de cooperweld.

DESCRIPTION	Material conductivity (%)	α_r factor at 20°C (1/°C)	K_0 at 0°C (0°C)	Fusing temperature T_m	ρ_r 20°C ($\mu\Omega.cm$)	TCAP thermal capacity [J/(cm ³ .°C)]	Kf
Copper, annealed soft-drawn	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42	7
Copper, commercial hard-drawn	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42	7,06
Cooper-clad steel wire	40	0,00378	245	1084	4,4	3,85	10,45
Cooper-clad steel wire	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85	12,06
Cooper-clad steel rod	20	0,00378	245	1084	8,62	3,85	14,64
Aluminum, EC grade	61	0,00403	228	657	2,86	2,56	12,12
Aluminum, 5005 alloy	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6	12,41
Aluminum, 6201 alloy	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6	12,47
Aluminum-clad steel wire	20,3	0,0036	258	657	8,48	3,58	17,2
Steel, 1020	10,8	0,00316	605	1510	15,9	3,28	15,95
Stainless-clad steel rod	9,8	0,0016	605	1400	17,5	4,44	14,72
Zinc-coated steel rod	8,6	0,0032	293	419	20,1	3,93	28,96
Stainless steel, 304	2,4	0,0013	749	1400	72	4,03	30,05

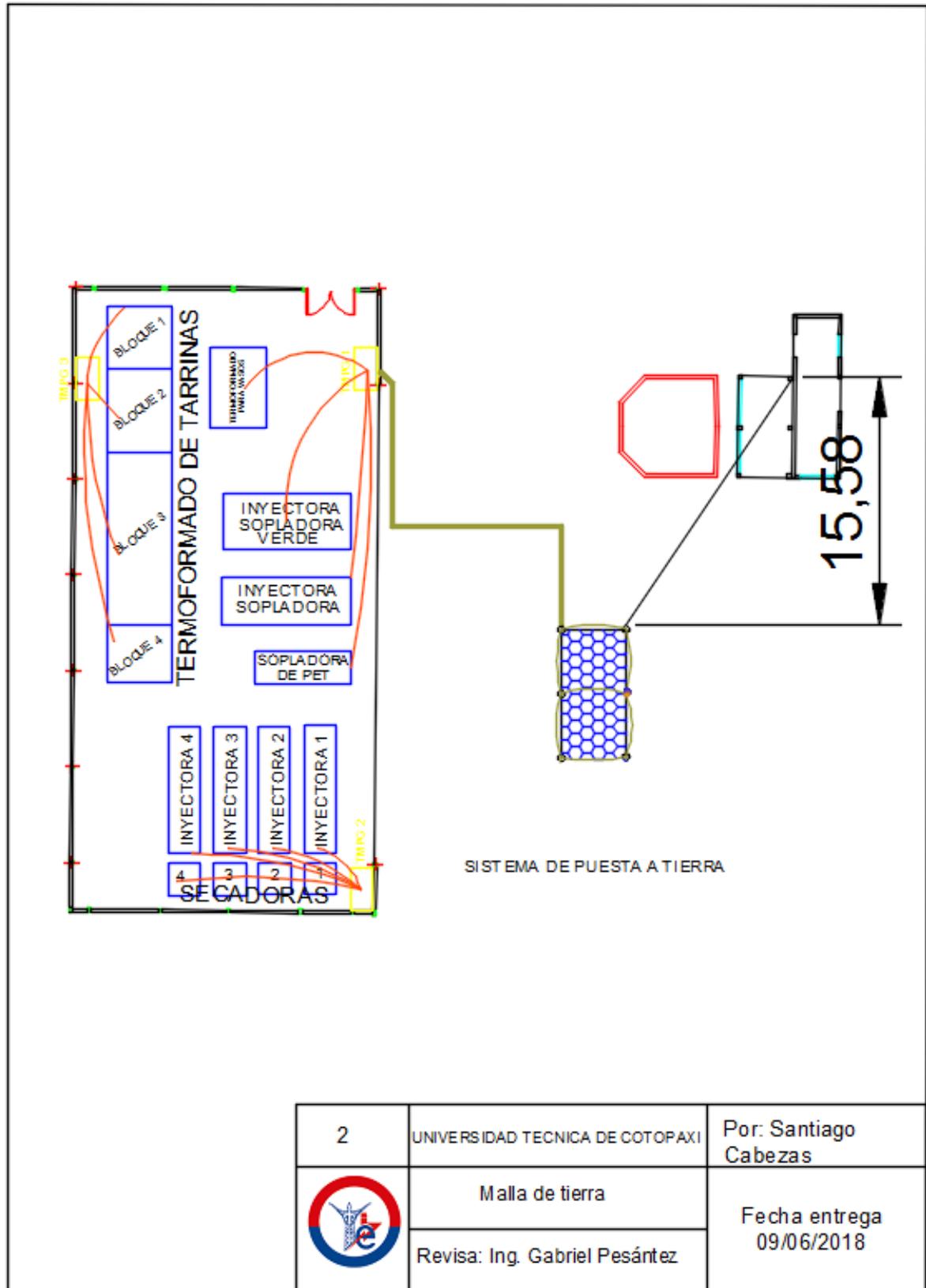
ANEXO 7 Tabla con características del conductor de tierra.

CALIBRE DEL CONDUCTOR		AREA NOMINAL mm ²	DIAMETRO m
MCM	AWG		
350		177,35	0,015
300		152,01	0,0139
250		126,68	0,0127
211,6	4/0	107,22	0,0117
167,8	3/0	85,03	0,0104
133,1	2/0	67,44	0,0093

Tabla 250-95 Sección transversal mínima de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente ubicado antes del equipo, tubería, etc.	Sección transversal		Sección Transversal	
	Cobre		Aluminio	
No mayor en (Amperes)	mm ²	AWG kCM	mm ²	AWG kCM
15	2.082	14	3.307	12
20	3.307	12	5.260	10
30	5.260	10	8.367	8
40	5.260	10	8.367	8
60	5.260	10	8.367	8
100	8.367	8	13.30	6
200	13.30	6	21.15	4
300	21.15	4	33.62	4
400	27.67	3	42.41	2
500	33.62	2	53.48	1/0
600	42.41	1	67.43	2/0
800	53.48	1/0	85.01	3/0
1 000	67.43	2/0	107.2	4/0
1 200	85.01	3/0	126.7	250
1 600	107.2	4/0	177.3	350
2 000	126.7	250	202.7	400
2 500	177.3	350	304.0	600
3 000	202.7	400	304.0	600
4 000	253.4	500	405.4	800
5 000	354.7	700	612.0	1200
6 000	405.4	800	612.0	1200

ANEXO 8 Plano de la puesta tierra



ANEXO 9 Dimensiones de la puesta a tierra.

