

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR MÉTODOS DE ULTIMA GENERACIÓN PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA (CME) DE LA U.C.S.M.

Tesis presentada por el Bachiller
Vera Mansilla Geancarlo Marcel
Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:
Ing. Castillo Cáceres César

**Arequipa – Perú
2018**



Arequipa - Perú

Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado 1350

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL PLAN DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR
METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL
CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME) DE
LA UCSM.”**

Presentado por el (os) Bachiller (es):

VERA MANSILLA, Geancarlo Marcel

Nuestro DICTAMEN es:

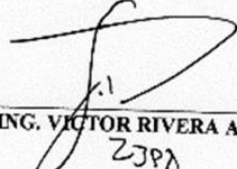
*** Aprobado para su desarrollo ***

OBSERVACIONES:

Sin observaciones

Arequipa, 25 de Noviembre 2017


1470
ING. CESAR CASTILLO CACERES


ING. VICTOR RIVERA ACOSTA
2398



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR
METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL
CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME)
DE LA UCSM”**

Presentado por el Bachiller:

VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL

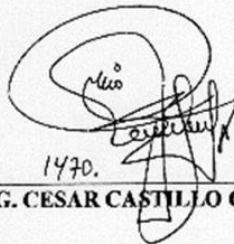
Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado para su sustentación

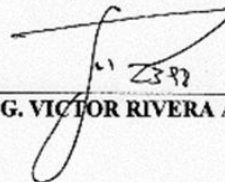
OBSERVACIONES:

Sin observaciones

Arequipa, 02 de mayo del 2018



1470.
ING. CESAR CASTILLO CACERES



ING. VICTOR RIVERA ACOSTA



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ucsm@ucsm.edu.pe http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERU

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DE ASESORÍA DE TESIS

VISTO

EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TESIS:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS
DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA
ELECTRONICA (CME) DE LA UCSM”.**

Presentado por el Bachiller:

VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL

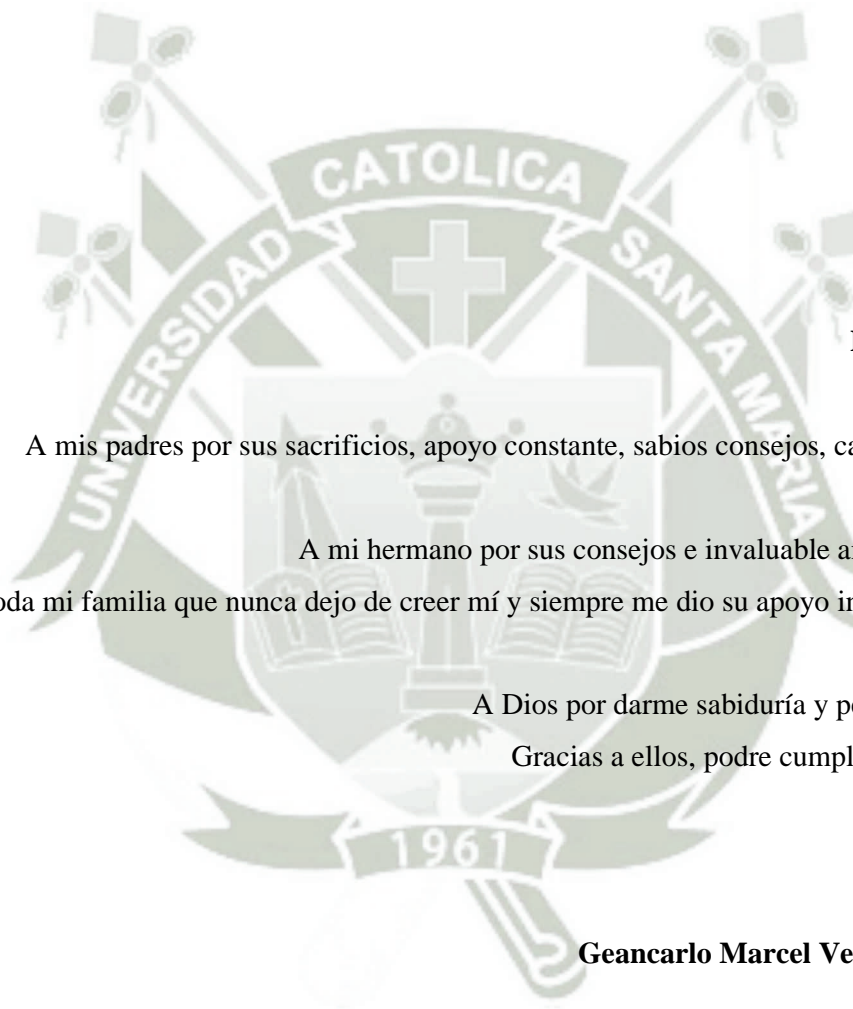
I N F O R M E

Etapa de asesoría concluida y conforme

OBSERVACIONES: *Sin observaciones*

Arequipa, *12 de abril del 2018*

Mio
1470.
ING. CESAR CASTILLO CACERES
ASESOR



Dedicatoria:

A mis padres por sus sacrificios, apoyo constante, sabios consejos, cariño y amor.

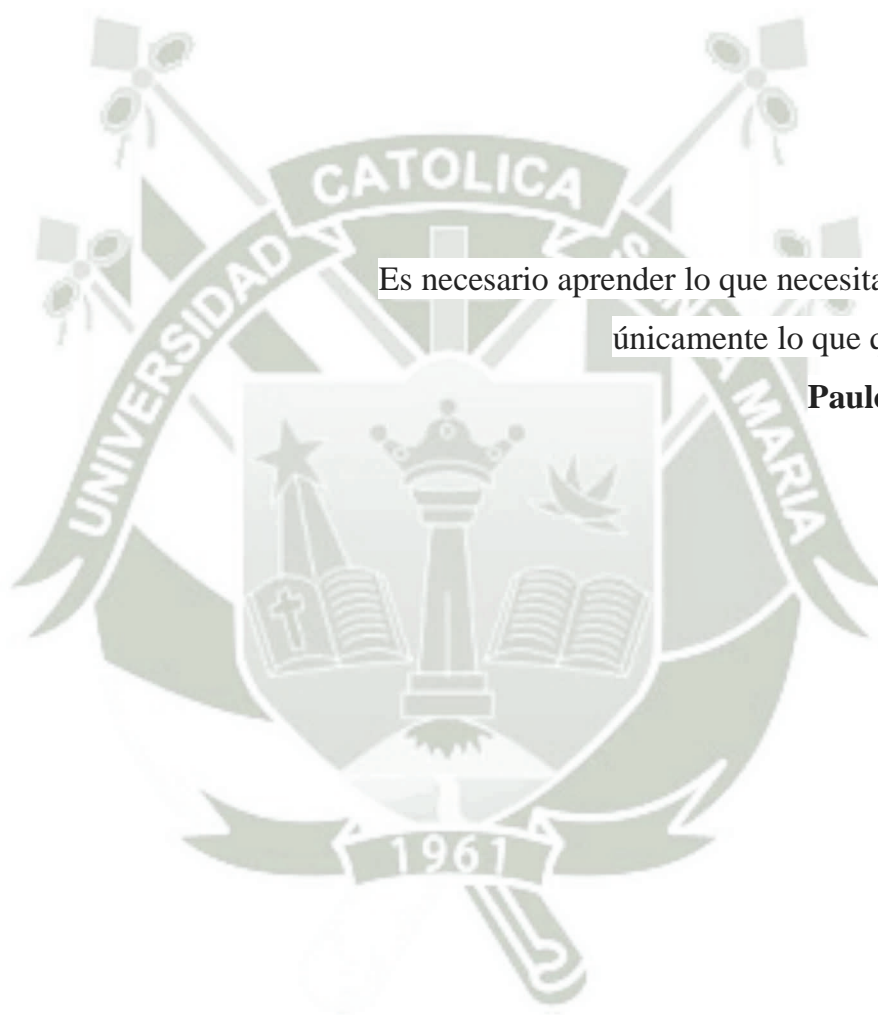
A mi hermano por sus consejos e invaluable amor fraternal

A toda mi familia que nunca dejo de creer mí y siempre me dio su apoyo incondicional.

A Dios por darme sabiduría y perseverancia.

Gracias a ellos, podre cumplir mis metas.

Geancarlo Marcel Vera Mansilla.



Es necesario aprender lo que necesitamos y no
únicamente lo que queremos.

Paulo Coelho.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Católica de Santa María de Arequipa, actualmente se encuentra entre las primeras universidades de nuestro país por la calidad académica que imparte, además actualmente está licenciada ante la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU), y actualmente se encuentra abocada a alcanzar la acreditación nacional e internacional de sus Escuelas Profesionales, por la que está invirtiendo sumas considerables en la implementación de nueva infraestructura y nuevos laboratorios, tal es así que se ha realizado la construcción e implementación del laboratorio de Mediciones mediante Microscopia Electrónica (CME), el mismo que cuenta con un equipo especializado denominado Microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM, por Scanning Electron Microscope) que es una técnica de microscopía electrónica capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia. Utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen.

Este laboratorio de última generación requiere de especificaciones de instalación muy especiales, en la parte estructural y de instalaciones eléctricas, lo más necesario para un funcionamiento correcto además que el equipo no se dañe es el requerimiento de un valor de resistencia de puesta a tierra de 1 ohmio, además que este valor se mantenga constante en el tiempo de uso del equipo, este requerimiento de valor de resistencia de puesta a tierra se puede conseguir con los sistemas de puesta a tierra tradicionales, pero se tienen limitaciones como el espacio, ya que para llegar a este valor se tendría que diseñar toda un área de enmallado de conductor de cobre, pero dado que este laboratorio nuevo se está acondicionando en el primer nivel de un pabellón existente (G) y que en las áreas comunes ya existen sistemas de aterramiento para el mismo pabellón y otros pabellones colindantes, además de instalaciones eléctricas (red subterránea) y redes sanitarias (agua y desagüe), pensar en sistema tradicional no sería lo más conveniente, por lo que en este tema de tesis se plantea un sistemas de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural, que no solo va a ocupar un menor espacio sino que presenta muchas ventajas con el sistema tradicional, y dado el costo de inversión del equipo del nuevo laboratorio es de mucho interés cumplir sus requerimientos.

RESUMEN

En el capítulo I se exponen los aspectos generales del proyecto, como son la introducción. Los objetivos, la justificación y delimitación del proyecto.

En el capítulo II, se resumen las principales normativas vigentes nacionales para los sistemas de puesta a tierra, como El Código Nacional de Electricidad – Utilización. Normas técnicas peruanas (NTP) INDECOPI, y normas internaciones IEEE GREEN BOOK STD 142-1991, “Recommended Practice for Grounding for Industrial and Commercial Power Systems” (Prácticas recomendadas para la puesta a tierra de sistemas de potencia industriales y comerciales, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (Prácticas recomendadas de energización y puesta a tierra de equipo electrónico, también conocido como Emerald Book Std. 1100) Otra publicación del IEEE es Guide for safety in AC Substation Grounding (Guía de seguridad de puesta a tierra de SE de corriente alterna).

En el capítulo III se expone la metodología del diseño del sistema de puesta a tierra de nueva generación tipo estructural

En el capítulo IV, se calculó el valor de la resistencia final considerando para el cálculo la estructura del pabellón I donde está el laboratorio (32.6m x 14.77m) y el electrodo estructural, es decir que se conectó a la estructura metálica del pabellón por medio de grapas especiales, aprovechando que se hizo un reforzamiento estructural al laboratorio, por lo que las estructuras del pabellón fueron incluidas en el cálculo, dicho valor calculado fue de 0.6299 ohmios, además se comprobó dicho valor con las mediciones respectivas al sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural, el valor medido también se muestra en dicho capitulo y se ha obtenido un valor de 0.29 ohmios.

Palabras claves:

Diseño del sistema de puesta a tierra - Métodos de última generación.

ABSTRACT

Chapter I describes the general aspects of the project, such as the introduction. The objectives, the justification and delimitation of the project.

Chapter II summarizes the main national regulations in force for grounding systems, such as The National Code of Electricity - Utilization. Peruvian technical standards (NTP) INDECOPI, and international standards IEEE GREEN BOOK STD 142-1991, "Recommended Practice for Grounding for Industrial and Commercial Power Systems" (Recommended practices for the grounding of industrial and commercial power systems, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (Recommended practices for energizing and grounding electronic equipment, also known as Emerald Book Std. 1100) Another publication of the IEEE is Guide for safety in AC Substation Grounding of alternating current).

Chapter III discusses the methodology for the design of the new generation structural grounding system

In Chapter IV, the value of the final resistance was calculated considering for the calculation the structure of Hall I where the laboratory is (32.6mx 14.77m) and the structural electrode, that is to say that it was connected to the metallic structure of the pavilion by means of special staples, taking advantage of the fact that a structural reinforcement was made to the laboratory, so the structures of the pavilion were included in the calculation, said calculated value was 0.6299 ohms, besides this value was verified with the respective measurements to the grounding system of new Structural Type Generation, the measured value is also shown in said chapter and a value of 0.29 ohms has been obtained.

Key words:

Grounding system design - Latest generation methods.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I GENERALIDADES	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivo.	2
1.3. Justificación de la Investigación.	2
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	3
2.1. Componentes de un sistema de puesta a tierra.	3
2.1.1. Definiciones	7
2.3. Métodos de medición de la Resistividad del terreno	9
2.3.1 Método de Wenner o de 4 puntos.	10
2.3.2. Método de Schlumberger-Palmer.	11
2.4. Métodos de medición de la Resistencia del terreno	12
2.4.1. Método de los dos puntos o dos polos.	12
2.4.2. Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.	13
2.5. Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica	14
2.6 Clasificación y Finalidad de los sistemas de puestas a tierra.	16
2.7. Sistemas de puesta a tierra convencionales.	20
2.7.1. Configuraciones de electrodos	22
2.8 Sistemas de puesta a tierra tipo estructural.	24
2.8.1. Electrodo estructural	24
2.8.2. Elemento magnéticamente activo	25
2.8.3. Acoplador de admitancias	25
2.8.4. Mejorador de suelos.	25
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL TIPO ESTRUCTURAL	37
3.1. Introducción.....	37
3.2. Generalidades.....	37

3.3. Componentes del sistema de puesta a tierra tipo estructural.	37
3.3.1. Electrodo estructural.....	38
3.3.2. Elemento magnéticamente activo.....	39
3.4 Criterios técnicos y procedimientos de cálculo.	41
3.4.1. Cálculo de corriente de corto circuito.....	42
3.5 Métodos de montaje.	44
3.5.1. Elaboración del foso	45
3.5.2. Preparación del material de relleno.....	45
3.5.3. Mezcla	45
3.5.4. Nivelación del electrodo y relleno del foso	46
3.5.5. Factor de agrupamiento.....	47
3.6 Métodos de medición del sistema.	48
3.6.1. Método de los dos puntos o dos polos.....	48
3.6.2. Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.	49
CAPÍTULO IV DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL TIPO ESTRUCTURAL PARA EL (CME) DE LA U.C.S.M.	51
4.1. Requerimientos del diseño.....	51
4.2. Estudio y medición de la resistividad eléctrica.....	52
4.3. Diseño para un sistema de puesta a tierra estructural	59
4.4. Selección de componentes.....	66
4.5. Especificaciones de montaje.....	68
4.5.1. Revisión del sistema	68
4.5.2. Almacenamiento.....	68
4.5.3. Ubicación del electrodo.	69
4.5.4. Preparación del suelo.....	69
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	84

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

Los sistemas de puesta a tierra son indispensables en todos los sistemas eléctricos existentes desde una vivienda unifamiliar con pequeños electrodomésticos hasta una gran industria con grandes motores y sistemas de control, por lo que todos los locales domésticos, comerciales, industriales, académicos, etc., cuentan con un sistema de puesta a tierra. Desde que se empezó a utilizar la electricidad se ha puesto en práctica en los sistemas eléctricos la puesta a tierra, ya que ésta provee un camino de retorno para la corriente de falla que se origina cuando hay un problema en el circuito eléctrico.

Además dicho sistema debe de cumplir con los valores de ohmiaje establecida en la norma (menor a 25 ohmios), esto implica que una vez instalado un sistema de puesta a tierra convencional necesita un mantenimiento anual, además si se requiera un sistema de puesta a tierra con un valor bajo de ohmiaje tendría que ser un enmallado que ocupa una gran área, todos estos factores logran que un sistema de puesta a tierra convencional requiera grandes espacios, mantenimiento constante, y además el conseguir valores muy bajos de resistencia es complejo y costoso. En nuestro caso el requerimiento del laboratorio de Mediciones - Microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM, por Scanning Electron Microscope). Utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Este laboratorio de última generación requiere de especificaciones de instalación muy especiales, en la parte estructural y de instalaciones eléctricas, lo más necesario para un funcionamiento correcto además que el equipo no se dañe es el requerimiento de un valor de resistencia de puesta a tierra de 0.5 es decir menor a 1 ohmio. Entonces realizar un sistema de puesta a tierra convencional para este laboratorio implicaría espacios para el enmallado de tierra que no se tiene, entonces dado este problema se plantea un sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural, que no solo va a ocupar un menor espacio, sino que presenta muchas ventajas con el sistema tradicional, garantizando el buen funcionamiento de los equipos de laboratorio.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural para el laboratorio de Microscopia electrónica (CME) de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Analizar las principales características de los sistemas de puesta convencionales
- Analizar las principales características del sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural
- Realizar mediciones de resistividad para los diseños respectivos del sistema.
- Revisar la normatividad vigente nacional para los sistemas de puesta a tierra.
- Comprobar con las mediciones respectivas los resultados del sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural.

1.3. Justificación de la Investigación.

En realidad este estudio tiene varias justificaciones la primera sería la económica ya que este nuevo sistemas de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural va a proteger al equipo SEM ZEISS EVO MA LS 10 Microscopio electrónico de alta tecnología y costo, además que su garantía por parte de la empresa solo se cumpliría si se mantienen vigentes los requerimientos de operatividad establecidos y así sería al instalas este sistema de aterramiento que garantiza un valor menor a 1 ohmio con el mantenimiento respectivo y una ocupación de área mínima.

Otra justificación de dicho estudio sería la técnica, ya que este tipo de sistemas de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural, es una tecnología nueva en nuestro país y aun muchos profesionales no la conocen ni se aplican en la mayoría de industrias, plasmando este estudio en una tesis abrimos las puertas a nuevas tecnologías que repercuten en mejoras técnicas y económicas en el uso y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, ya que los sistemas de puesta a tierra forman parte del 100% de las instalaciones eléctricas a nivel doméstica, industrial, comercial, etc.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Componentes de un sistema de puesta a tierra.

El sistema de tierra se compone principalmente de los siguientes elementos:

a) Conductores.

Estos sirven para formar la retícula del sistema de tierras y para realizar la conexión a tierra de los equipos.

El conductor, si es de calibre 4/0 o mayor, no requiere de protección, excepto en casos donde esté expuesto a daño físico severo. En caso de ser calibre #6 debe fijarse a la construcción o debe correr por un tubo conduit. Los calibres menores, deben correr siempre por tuberías conduit. En el caso de las tuberías conduit, éstas deben ser eléctricamente continuas; esto es, deben estar conectadas a tierra en ambos extremos. Estos cables no deben ser de aluminio o de cobre con aluminio porque se corroen cuando están en contacto con la tierra o con el cemento.

b) Electrodo.

Son las varillas que se clavan en terrenos más o menos blandos y que sirven para aumentar la longitud del conductor de la red de tierra en terrenos pequeños o en terrenos secos para encontrar zonas más húmedas y, por tanto, con menor resistividad eléctrica. Son especialmente importantes en terrenos desprotegidos de vegetación y cuya superficie, al quedar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca. Es muy importante tomar en cuenta que, por norma, los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del punto de unión principal del sistema. El sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- b.1. Tubería metálica de agua enterrada.
- b.2. Estructura metálica del inmueble.

b.3. Electrodo empotrado en concreto.

b.4. Anillo de tierra.

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente contruidos:

1) Electrodos de varilla o tubería

De acuerdo con la norma los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,40 m de su longitud esté en contacto con la tierra.

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm, y las demás de por lo menos 16 mm. Las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm, y si son de hierro, deben tener una protección contra corrosión en su superficie.

Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas dura un promedio de 35 años en un suelo promedio; si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar.

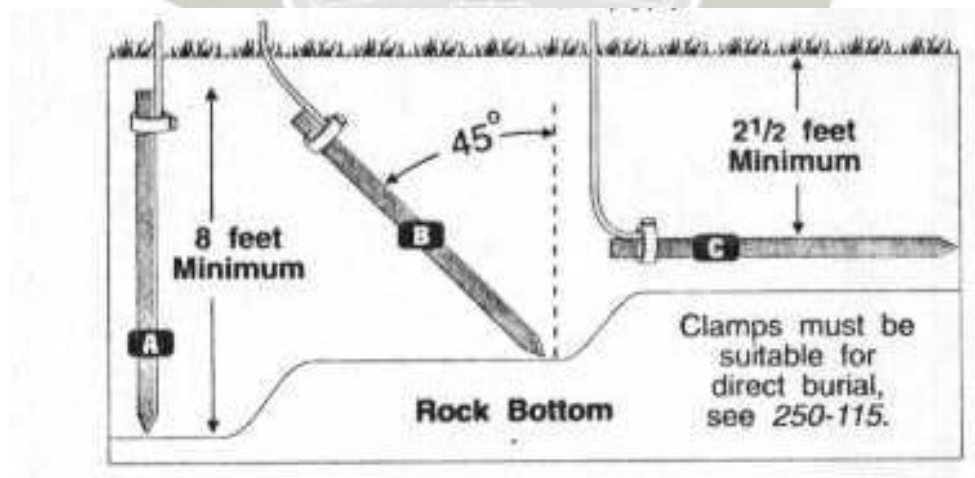


Fig. 2.1.- Posiciones de electrodo

Cuando la roca está a menos de 2,40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos.

La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero, aunque no se obtiene la compactación ni la baja resistencia de contacto de la varilla percutida.

2) Electrodos de Placa

Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o fierro deberán tener por lo menos 6,4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1,52 mm de espesor.

3) Estructuras Metálicas Enterradas

La puesta a tierra mediante sistemas de tuberías o tanques enterrados. Pero, puede ser cualquier clase de estructura metálica subterránea.

Los tipos de electrodos no permitidos son:

- Tuberías de gas enterradas.
- Electrodos de aluminio.

c) Conectores.

Son elementos que sirven para unir a la red de tierra los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los bancos de transformadores, etc. Los conectores de conductores de puesta a tierra con los electrodos pueden ser del tipo de soldadura exotérmica, conectores a presión, abrazaderas u otros medios aprobados por la Norma y no deben tener soldaduras con materiales de puntos de baja fusión (estaño, plomo, etc.) para evitar falsos contactos, ya que pierde características de seguridad la malla, si se llegara a abrir.

En nuestro país, se prefieren las conexiones exotérmicas (de marcas: Cadweld, Thermoweld, o Mexweld) para redes de tierras de subestaciones de alta potencia. Las abrazaderas a usarse en sistemas de puesta a tierra deben ser adecuadas para el número y tipo de conductores.

Además, deben de ser compatibles con los materiales de los conductores y los electrodos de puesta a tierra, y cuando se usen enterradas, deben ser del tipo apropiado.

En los sistemas de tierra se utilizan tres tipos de conectores:

- Conectores atornillados. Se fabrican con bronce de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce al silicio que proporciona alta resistencia mecánica y a la corrosión.
- Conectores a presión. Se forman por una pieza hueca, en cuyos extremos se introducen las dos terminales del cable que se va a empalmar y mediante una prensa especial, con dados intercambiables según los calibres de los conductores, se producen la unión al comprimirse el material citado. Estas conexiones pueden soportar una temperatura máxima de 350°C.
- Conectores soldados. Requiere de moldes de grafito de diferentes calibres en donde por medio de la combustión de cargas especiales, que producen temperaturas muy altas, se funden las puntas terminales que se van a soldar provocando una unión que soporta temperaturas de fusión del conductor. Estos conectores son económicos y seguros, por lo que se usan con mucha frecuencia.

d) Tierra Física.

La Tierra Física o Sistema del electrodo de tierra (Fig. I.2), el cual cubre el sistema del electrodo de tierra y todas las conexiones hechas para realizar un sistema de puesta a tierra efectiva, es la conexión física de un sistema a un electrodo bajo tierra. El sistema electrodo de tierra puede consistir en una varilla, tubería u otro electrodo, práctica aprobada por la normatividad y debe tener un contacto directo con la tierra. Los electrodos más usados son las varillas Copperweld. Por ningún motivo debe utilizarse tubería de gas.

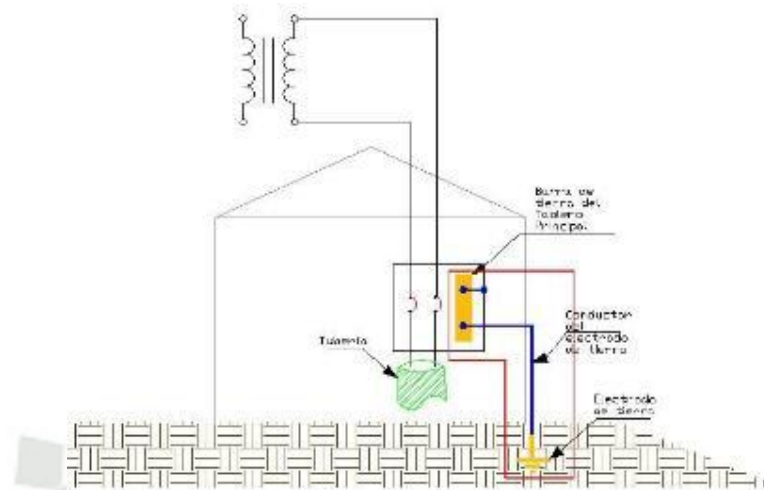


Fig. 2.2.- Sistema de Tierra Física

2.1.1. Definiciones

- **Tierra de Protección.** Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecto a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.
- **Tierra de Servicio.** Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.
- **Tierra de Referencia.** Se entiende por tierra de referencia a la tierra que se le asigna potencial.
- **Electrodo de Tierra.** Se entiende por electrodo de tierra a un conductor (cable, barra, tubo, placa, etc.) enterrado en contacto directo con la tierra o sumergido en agua que este en contacto con la tierra.
- **Mallas de Tierra.** Es un conjunto de electrodos unidos eléctricamente entre sí.

- **Conexión a Tierra.** Es la conexión eléctrica entre una malla o electrodo en tierra y una parte exterior. Las partes de conexiones a tierra no aisladas y enterradas, se consideran como parte de la malla de electrodo.
- **Poner a Tierra.** Cuando un equipo o instalación está conectado eléctricamente a una malla o electrodo a tierra.
- **Resistividad de un Terreno.** Es la relación entre la tensión de la malla con respecto a tierra de referencia y la corriente que pasa a tierra a través de la malla.
- **Gradiente Superficial.** Es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de la superficie del terreno o del agua, distante entre sí en 1 m.

2.2. Resistividad del terreno

La resistividad del terreno es la resistencia al paso de la corriente eléctrica de un volumen que tenga una sección transversal y longitud unitarias; sus unidades son [$\Omega \cdot m$]

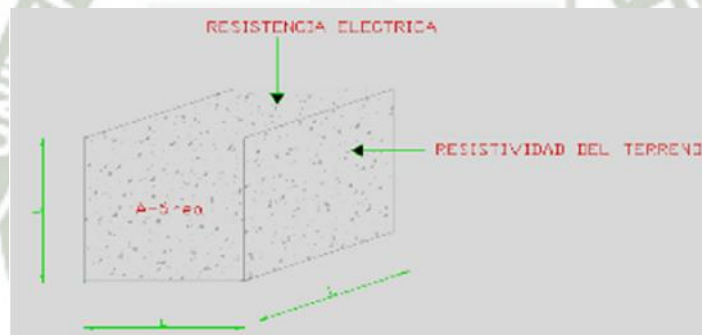


Fig. 2.3.- Resistividad del terreno

La medición de la resistividad es útil por los siguientes motivos:

- Para calcular la resistencia de puesta a tierra de un sistema
- Para calcular gradientes de potencial incluyendo voltajes de toque y paso
- Diseño de sistemas de protección “catódica”.
- Calculo del acoplamiento inductivo entre circuitos de potencia y comunicaciones cercanas

La resistividad de un terreno ρ , dada en $[\Omega \cdot m]$ se calcula a partir de la fórmula de la resistencia de un cubo de tierra de volumen unitario. La fórmula es la siguiente:

$$\rho = R_T \times \frac{A}{L} [\Omega \cdot m]$$

Donde:

R_T : resistencia del sistema de tierra.

ρ : resistividad del terreno en ohms-metro.

A: área en m^2 de la sección transversal.

L: longitud en m

Tipo de terreno	Resistividad $[\Omega \cdot m]$
Agua de mar	10^0
Tierra orgánica mojada	10^1
Tierra húmeda	10^2
Tierra seca	10^3
Concreto	10^3
Roca	10^4

Tabla 2.1 .- Resistividad en diferentes tipos de terreno.

2.3. Métodos de medición de la Resistividad del terreno

Debido a que la resistividad de un terreno no es constante y esta varía de acuerdo a las condiciones del terreno se debe obtener el promedio de varias mediciones efectuadas a lo largo y ancho del terreno, para obtener el valor más aproximado a lo real, ya que condiciones ambientales pueden alterar las mediciones, como la humedad, metales enterrados o dificultades en campo.

2.3.1 Método de Wenner o de 4 puntos.

Este método fue desarrollado por Frank Wenner en 1915. En la figura, se observan las conexiones que deben realizarse para llevar a cabo la medición. Los electrodos deben ser enterrados en una línea recta a una misma distancia entre ellos a y a una misma profundidad b . La distancia b no puede exceder un veinteavo de la distancia a , es decir

$$b < \frac{1}{20} a$$

Se utilizan cuatro electrodos de prueba iguales y se entierran en el suelo apartados a una distancia igual en línea recta y se conectan por medio de 4 conductores de prueba al aparato de medición de resistencia de tierra.

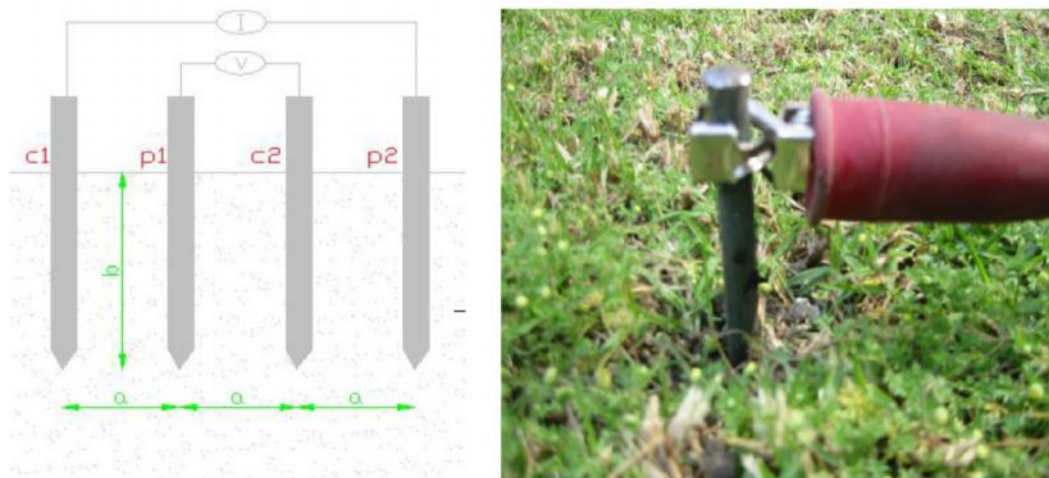


Fig. 2.3.- Método de Wenner

El método consiste en hacer pasar una corriente conocida por los electrodos de prueba de los extremos C1 y C2. En los electrodos de prueba P1 y P2 se mide la diferencia de potencial resultante de la corriente anterior. Con estos datos se puede calcular la resistencia y resistividad del terreno a una profundidad b :

$$\rho = \frac{4\pi a R}{\left[1 + \left(\frac{2a}{(a^2 + 4b^2)^{1/2}} \right) - \left(\frac{2a}{(4a^2 + 4b^2)^{1/2}} \right) \right]}$$

Si $b \ll a$,

$$\rho = 2\pi a R$$

Donde:

: resistividad promedio a la profundidad P.

a: distancia entre los electrodos.

R: resistencia medida por el Megger.

Se recomienda hacer la medición varias veces cambiando el eje de los electrodos unos 90° C, la distancia y la profundidad entre ellos debido a las variaciones que se puedan generar por las variantes del terreno. Si las lecturas de resistividad más separadas varían menos de un 50% entonces se considera que la resistividad es uniforme.

2.3.2. Método de Schlumberger-Palmer.

Este método es una variación del método ideado por Wenner, pero en este caso se varía la separación entre electrodos de corriente C1 y C2, a distancias múltiples de la separación de los electrodos de potencial P1 y P2, que se mantiene constante. Con el valor obtenido de la resistencia de tierra, se utiliza la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\pi \cdot c \cdot (c + d) R}{d}$$

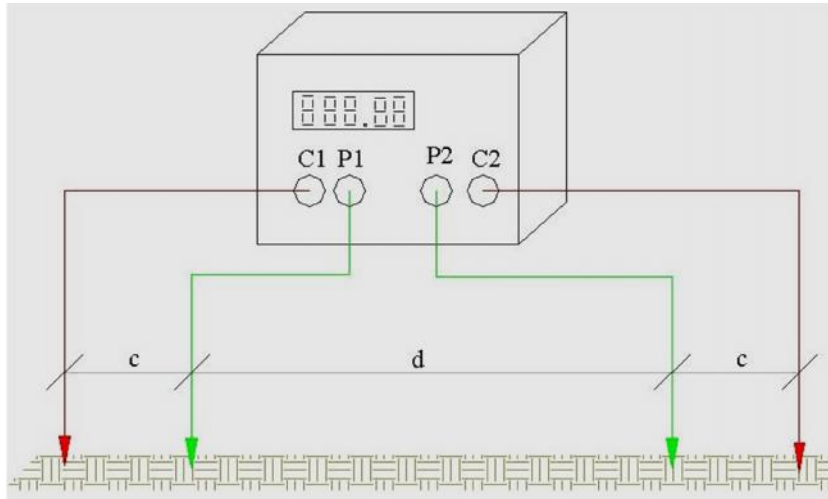


Fig. 2.4.- Método de Schlumberger-Palmer

2.4. Métodos de medición de la Resistencia del terreno

La resistencia a tierra de cualquier sistema es la oposición del material conductor o no conductor al paso de la corriente eléctrica, producida por una diferencia de potencial entre dos puntos. La resistencia de un sistema de tierra puede ser calculada teóricamente por la siguiente fórmula:

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

Donde:

ρ : Resistividad del terreno en [$\Omega \cdot m$]

L: Longitud en [m]

A: Área de la sección transversal en [m²]

Sin embargo, la resistividad del terreno variará inversamente en función de la temperatura del mismo, además del contenido de humedad y profundidad.

2.4.1. Método de los dos puntos o dos polos.

En este método se mide la resistencia del electrodo en estudio, más la resistencia de un electrodo auxiliar; esta resistencia se considera muy pequeña por lo cual el resultado del estudio es la resistencia del electrodo en estudio. Este método se utiliza para la medición de un electrodo simple instalado en un área residencial donde se tiene un sistema de suministro

de agua que utiliza tuberías metálicas que será utilizada como electrodo auxiliar. En la siguiente figura se muestra un diagrama de conexiones que se deben realizar para hacer la medición de resistencia del electrodo simple. Obsérvese que las terminales C1 y P1 al igual que las terminales C2 y P2 son unidas con un puente para realizar este método.

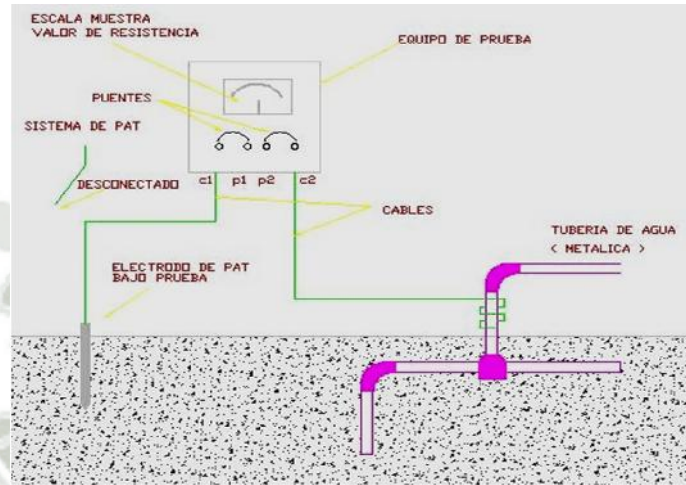


Fig. 2.5.- Método de los dos puntos

2.4.2. Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.

En la siguiente figura se muestra el diagrama que se debe seguir para conectar el Megger para realizar las mediciones por este método. Las terminales C1 y P1 están conectadas mediante un puente. Este método también es conocido como “método del 62%”.

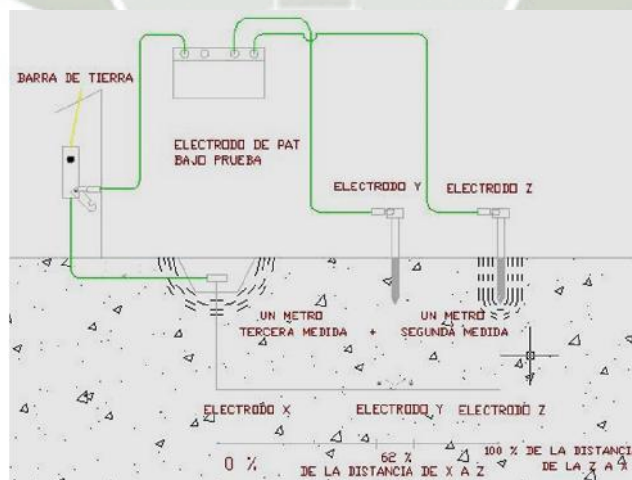


Fig. 2.6 .- Método de caída de potencial

Este método consiste en inyectar corriente a través de un electrodo de prueba llamado “de corriente” y medir el alza de potencial con otro electrodo auxiliar llamado “de potencial”. Una vez conociendo el valor de tensión y el valor de corriente se puede determinar la resistencia por la ley de Ohm. Los tres electrodos se deben mantener en una línea recta y se va corriendo el electrodo de potencial hacia el electrodo de corriente para realizar mediciones sucesivas de resistencia. De acuerdo a los valores obtenidos, se realiza una tabla con las distancias y la resistencia óhmica obtenida, para después graficarse y obtener una resistencia característica, trazando una línea paralela al eje X.

El método más común para medir el valor de resistencia a tierra de electrodos de pequeño o mediano tamaño, se conoce como el método de caída de potencial. En este caso es normalmente suficiente un medidor portátil de resistencia a tierra, también usado para medida de resistividad de terreno, con dos terminales de potencial, P1 y P2 y dos terminales de corriente, C1 y C2.

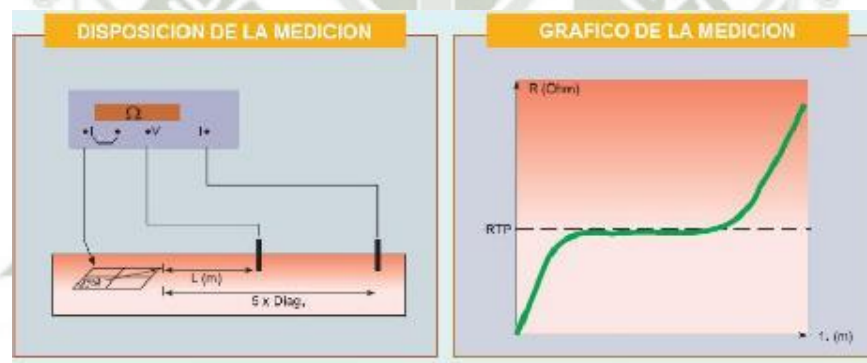


Fig. 2.7 Método de caída de potencial

2.5. Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica

Cuando la resistencia del electrodo único mencionado, excede del valor buscado, esa resistencia se puede reducir de las siguientes maneras:

a) Varilla de mayor diámetro

Usando varillas de 19 mm en lugar de varillas de 13 mm se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo.

b) Varillas más largas

Para los casos donde las capas superiores de la tierra son de arena y donde a gran profundidad se encuentra una capa de terreno húmedo, existen varillas que se acoplan unas a otras para lograr longitudes hasta de 15 m.

Por lo general, doblando el largo, se obtiene una reducción del 40% de resistencia a tierra. Otra ventaja es que, con el uso de varillas largas, se controla el gradiente de potencial en la superficie.

c) Varillas en paralelo

El colocar varias varillas en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistividad. Pero, las varillas de tierra no deben ser colocadas muy cerca una de otra, porque cada varilla afecta la impedancia del circuito, por los efectos mutuos.

La distancia entre ellas o de cualquier electrodo, no debe ser menos de 1,8 m, aunque se recomienda que estén separadas más del largo de cualquiera de ellas.

d) Tratando químicamente el terreno

Cuando la resistencia a tierra no es lo suficientemente baja, y los métodos anteriores no son posibles, se tiene que mejorar el terreno mismo mediante productos químicos. Pero, tiene el inconveniente de ser una solución costosa y que bajo ciertas circunstancias se requiere de mantenimiento.

El problema de lograr una resistencia baja en la roca, así como en otros suelos de alta resistividad, está asociada con el material en contacto con el electrodo y la compactación que éste recibe al rellenar el agujero.

El relleno ideal debe compactarse fácilmente, no ser corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico, los más utilizados son: la bentonita, compuestos como el sulfato de magnesio o de sulfato de cobre, compuestos químicos patentados como THOR GEL, el GEM de Erico, el GAP de Alta Conductividad 2000 S.A, etc.

2.6 Clasificación y Finalidad de los sistemas de puestas a tierra.

La finalidad de los sistemas de puesta a tierra está en función de la aplicación de dichos sistemas y son los siguientes:

- ❖ Puesta a tierra para sistemas eléctricos.
 - ❖ Puesta a tierra de los equipos eléctricos.
 - ❖ Puesta a tierra en señales electrónicas.
 - ❖ Puesta a tierra de protección electrónica
 - ❖ Puesta a tierra de protección atmosférica
- a) **Puesta a tierra para sistemas eléctricos.** El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Esto se realiza mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, como parte del sistema eléctrico conectado al planeta tierra.
- b) **Puesta a tierra de los equipos eléctricos.** Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades, de forma que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos.

Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad, mejor funcionamiento y regularidad en la operación y en fin, todos los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de corto circuito y sobretensiones en condiciones de falla.

Generalmente la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 Ohms. Para la conexión a tierra de los equipos, se instalan en los edificios, una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas, instaladas a unos 60 cm sobre el nivel de piso con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de fuerza en las concentraciones de tableros de cada piso.

- c) **Puesta a tierra en señales electrónicas.** Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero o a tierra.
- d) **Puesta a tierra de protección electrónica.** Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por sobre voltajes, se colocan dispositivos de protección de forma de limitar los picos de sobré tensión conectados entre los conductores activos y tierra.

La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2.60 metros sobre nivel de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica.

La resistencia a tierra máxima en este sistema debe ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida.

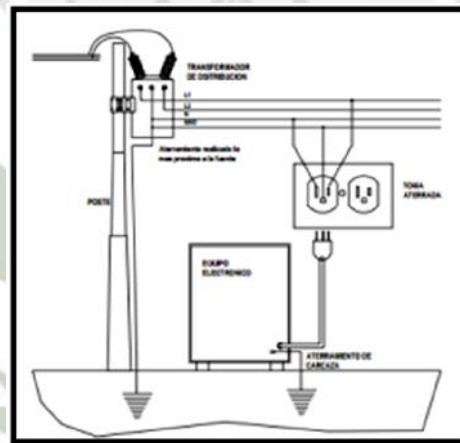


Fig. 2.8 Puesta a tierra por proteccion electronica

- e) **Puesta a tierra de protección atmosférica.** Como su nombre lo indica, se destina para drenar a tierra las corrientes producidas por descargas atmosféricas (RAYOS) sin mayores daños a personas y propiedades.

Se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger o se conforma con electrodos tipo copperweld y cable tipo pararrayos de cobre Clase 1 de 27 hilos.

La distancia del edificio con respecto al sitio donde se entierre el electrodo, no debe ser inferior a 2,50 metros y debe quedar totalmente aislado de los sistemas de tierras para fuerza y para electrónica.

La resistencia a tierra en cualquier punto del sistema, no debe ser mayor a 10 ohms, para lo cual, en caso necesario, se implementarán arreglos de electrodos en

Delta y/o un agregado de elementos químicos para reducir la resistividad del terreno, recomendados por el CEN en el artículo 250-83.

f) **Puesta a tierra de protección electrostática.** Sirve para neutralizar las cargas electroestáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero. Como pudo apreciar anteriormente cada sistema de tierras debe cerrar únicamente el circuito eléctrico que le corresponde.

g) **Puesta a tierra para sistemas eléctricos.** Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecta a tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

Se conectarán a tierra los elementos de la instalación necesarios como ser:

- Los neutros de los transformadores, que lo precisan en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas.
- El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen.
- Los circuitos de baja tensión de transformadores de medida.
- Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

h) Puesta a tierra de protección: Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.

La posibilidad de que ciertas partes de una instalación, que normalmente están sin tensión, puede quedar con una tensión con respecto a la tierra por fallas de aislamiento, se debe evitar conectando todas las partes metálicas con las que pueda una persona entrar en contacto y que no debe estar normalmente con tensión.

Según la presente norma, se entiende por tierra de protección la puesta a tierra de toda pieza conductora que no forma parte del circuito, pero que en condiciones de falla puede quedar energizada.

Se pondrán a tierra las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Salvo se indique lo contrario, se pondrán a tierra los siguientes elementos:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos.
- Las puertas metálicas de los locales.
- Las vallas y cercas metálicas.
- Las columnas, soportes y pórticos.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión.
- Los blindajes metálicos de los cables.
- Las tuberías y conductos metálicos.
- Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.
- Hilos de guardia o cables de tierra de las líneas aéreas.

En todos los casos donde el conductor de puesta a tierra se encuentre en vías de circulación de personas u animales ajenas a la instalación deberá contar con protección mecánica, evitándose en lo posible el uso de tubos de material de buena permeabilidad magnética.

- i) **Puesta a Tierra provisoria.** Cuando se establece tierra provisoria para trabajar en líneas o equipos, debe tener presente que, en general, las Tierras de tirabuzón o la de las estructuras, son tierra de alta resistencia y, por lo tanto, se producen fuertes elevaciones de potencial al circular corriente en ellas.

Cuando se ejecutan trabajos de estructuras metálicas conectadas al punto de trabajo para evitar diferencias de potencial. Siempre que el trabajo se ejecute una desconexión operando un equipo o abriendo un puente, debe tenerse en cuenta la posibilidad de alimentación desde cualquiera de los lados debe, por lo tanto, colocarse puesta a tierra en cada lado del o los puntos de apertura de los circuitos.

2.7. Sistemas de puesta a tierra convencionales.

Un sistema de puesta a tierra convencional consta, principalmente de:¹

- **Electrodos:** Elemento metálico que permanece en contacto directo con el terreno, facilitando el paso a éste de las corrientes de falla. Construidos con materiales resistentes a la humedad y la acción química del terreno. Los electrodos tienen como finalidad principal la transmisión de la corriente de falla a tierra de una manera segura, garantizando la unión íntima con ella, además disminuyen la resistencia de tierra para dicho propósito. Los electrodos de tierra son: Artificiales, constituidos por barras, tubos, placas, cables y otros elementos metálicos. Naturales, elementos metálicos enterrados en la tierra, aprovechados para la puesta a tierra si cumplen condiciones reglamentarias. Cuando los electrodos están lo suficientemente distantes para que la corriente máxima que pasa por cada uno de ellos modifique al potencial de los otros, se dice que los electrodos de tierra son independientes. Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para responder a ensayos e inspección, el material no debe corroerse y además tener buena conductividad eléctrica. Se usa el cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y hierro fundido. Encontramos por ejemplo la varilla Copperweld.

¹ : www.saber.ula.ve/.../electronica/sct/resistencia_a_tierra.pdf

Línea de enlace con tierra: También conocido como anillo de enlace, está formado por un conjunto de conductores que unen a los electrodos con el punto de puesta a tierra. Debe ser de cobre desnudo, su sección no será inferior a 10 mm² y en ningún caso inferior a sus derivaciones. Línea principal de tierra: Formado por conductores de cobre que parten del punto de tierra, y se usan para conectar todas las derivaciones necesarias para la puesta de tierra, a través de los conductores de protección. Su recorrido debe ser corto para reducir los efectos inducidos y sin cambios bruscos de dirección. La línea principal de tierra será de cobre desnudo. Su sección no será inferior de 10 mm² y en ningún caso inferior a las de sus derivaciones. Derivaciones de las líneas principales de tierra: Constituidas por conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o, directamente con las masas. Los conductores serán de cobre e irán entubados junto a los conductores activos. Se identificarán mediante el color amarillo verde a rayas de su aislamiento y la sección dependerá de la sección del conductor de fase al que acompañan. Este criterio se aplica también en los conductores de protección.²

Conductores de protección: Unen eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, asegurando la protección contra los contactos indirectos, manteniendo la seguridad del circuito a tierra. También se le conocen como conductores de protección a los conductores que unen las masas a:

- ✓ el neutro de la red.
 - ✓ otras masas.
 - ✓ a elementos metálicos distintos de las masas.
 - ✓ un relé de protección.
- Barra de tierra general o Punto de puesta a tierra: Es un punto situado fuera del suelo (barra de cobre), generalmente dentro de una caja de derivación o dentro del tablero general, que sirve de unión entre la instalación eléctrica y la línea principal de tierra.
 - La conexión entre electrodos se realiza por medio de cobre desnudo, ayudando esto a reducir la impedancia global. Las conexiones deben ser robustas mecánicamente, resistencia a la corrosión y baja resistividad. Dichas conexiones son factores tomados en cuenta en el diseño. Se tomará en cuenta algunos métodos empleados para unir, método mecánico, bronceado, soldadura exotérmica y soldadura por fusión autógena.

² www.saber.ula.ve/.../electronica/sct/resistencia_a_tierra.pdf

Conexiones mecánicas: Empleadas comúnmente la conexión apernada (mecánica) y la compresión (hidráulica), deben cumplir las normas pues serán sometidos a impactos mecánicos, eléctricos y térmicos. Se debe tener cuidado al efectuar perforaciones efectuadas para acomodar pernos cuando se unen cintas entre sí. Al apernar diferentes metales, se debe limpiar y proteger con inhibidor de óxido.³

Conexiones bronceadas: Se aplican en cobres y aleaciones de cobre. Su ventaja principal es que proporciona baja resistencia de unión que no se corroe. Es necesario una superficie limpia y plana de los materiales para el bronceado.

Uniones exotérmicas: Se realizan mediante moldes de grafito, diseñado para ajustar el tipo específico de unión. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre puro. Entre sus beneficios están: proporcionar una unión permanente de baja resistencia y resistente a la corrosión. No es permitida para conectar cobre y aluminio en las subestaciones.

Conexión con soldadura autógena: El cobre se puede unir por soldadura de bronce o soldadura al arco en presencia de gas. Esta técnica emplea alta temperatura y material de relleno. El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área en torno al electrodo y la soldadura es envuelta por un gas tal como argón o nitrógeno, esto reduce la oxidación durante el proceso de soldadura.

2.7.1. Configuraciones de electrodos⁴

El método convencional para lograr un sistema de tierra, es la combinación de electrodos verticales y horizontales. La configuración de estrella, la de anillo o la de malla, son configuraciones típicas de electrodos. Su complicación radica en obtener una resistencia de tierra baja, lo que implica el uso de altos números de electrodos. Una corriente, al pasar por un electrodo de punta simétrico, su distribución de potencial, está determinada por líneas concéntricas de iguales potenciales, que van decreciendo hasta hacerse cero en la tierra de referencia, 20 m es una adecuada distancia para ser usada como tierra de referencia. Lo anterior, hace existir la condición de una distancia que minimice la interacción de los campos entre ellos, como consecuencia efectos de apantallamientos; mientras más alejados estén dos

³ www.saber.ula.ve/.../electronica/sct/resistencia_a_tierra.pdf

⁴ OROPEZA Ángeles, Javier A. Libro de Oro de puesta a tierra universal, Grounding and Bonding

electrodos, la resistencia lograda con su unión será menor. En la práctica es imposible por economía y espacio, usar distancias tan grandes. Lo usual es tabular valores de apantallamiento con la distancia de separación y configuración del electrodo. Un valor recomendado en la práctica es usar como distancia entre electrodos, dos veces la profundidad enterrada que tenga el mismo, siendo la separación igual a la profundidad enterrada.

Configuración de malla: La norma requiere un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas (NEC 921-18). La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 2.5 a 3 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciado igual a la distancia del electrodo como mínimo. El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo, evitando concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas. Los cruces de conductores en la malla, deben de estar conectados de manera rígida entre sí con soldadura exotérmica o en las esquinas de la malla. Con respecto al factor de apantallamiento, esta es la configuración más adecuada, en contraposición, requiere más espacio. Los cables empleados en las mallas de tierra son de acero, acero inoxidable, acero galvanizado, y cobre. El factor principal en la selección del material es la resistencia a la corrosión.

Configuración en forma de estrella: Este caso responde al uso de los electrodos horizontales formando caminos o ramas alrededor de un punto. La estrella formada no debe exceder de 6 rayos, ya que un número mayor introduciría coeficientes bajos de apantallamiento que serían perjudiciales. El número de rayos más usados es entre 3 y 4 rayos. Este tipo de configuración se realiza con cable de cobre desnudo con ramificaciones de 60° o más de ángulo, utilizados en el campo por la longitud del cable, ya que se obtiene una resistencia de menor valor. Si se unen entre sí las ramificaciones que constituyen un electrodo en estrella, se obtiene una red estrellada.⁵

Configuración poligonal o de anillo: Es cuando el sistema rodea a la edificación. En estos casos también deben cumplirse las profundidades y espaciamientos citados. En este método, para iguales distancias de espaciamiento, igual cantidad de electrodos e igual longitud de cable horizontal enterrado, se obtienen valores de mayor valor óhmico, que los que se

⁵ OROPEZA Ángeles, Javier A. Libro de Oro de puesta a tierra universal, Grounding and Bonding

lograrían si estos electrodos se colocaran de forma lineal. La configuración de anillo tiene a su favor que permite una distribución alrededor del edificio propiciando las uniones equipotenciales, ocupa menos espacio y es menos propensa a los daños mecánicos fortuitos, por estar cerca de la edificación y mantenerse dentro de sus límites. Esta configuración es típica de sub-estaciones eléctricas y sitios de comunicaciones. Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG (por resistencia mecánica) y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 800 mm y, que rodee al edificio o estructura.⁶

2.8 Sistemas de puesta a tierra tipo estructural.⁷

Básicamente, un Sistema de puesta a tierra estructural consta de los siguientes componentes:

- Electrodo estructural.
- Elemento magnéticamente activo
- Acoplador de admitancias.
- Mejorador de suelos.

2.8.1. Electrodo estructural

La estructura generalmente es de cobre, no es maciza, sino es una combinación de tubos, placas y/o conos de dicho material, unidos entre sí por medio de soldaduras acero plata, que soportan los esfuerzos mecánicos producto del paso de corrientes de alta magnitud. La estructura es tratada con impregnación anticorrosiva (sulfato de zinc). La forma que el electrodo tiene, maximiza el contacto con el terreno; a mayor área, menor resistencia. Las propiedades físicas incluyen el comportamiento eléctrico, magnético, térmico, elástico y químico.

Para evitar la falla del cobre y prolongar su vida útil; el recubrimiento (sulfato de zinc), evita la producción de vapor en las fronteras del material conductor y el terreno, su aplicación electrostática inhibe la disolución de hidrógeno en el cobre en presencia de oxígeno residual. Para alargarla vida útil del electrodo, no se deben utilizar aceleradores electroquímicos como sales o compuestos en contacto periférico con la estructura.

⁶ OROPEZA Ángeles, Javier A. Libro de Oro de puesta a tierra universal, Grounding and Bonding

⁷ Faragauss Systems. Norma de instalación. Faragauss. Guadalajara, Jal: Faragauss, 2000

2.8.2. Elemento magnéticamente activo

Este es el elemento que marca la verdadera diferencia entre un sistema convencional y uno estructura. Es un elemento magnético que permanentemente está activo sin ayuda de ningún medio externo, sino por la producción magnética natural de imanes permanentes que orientan su flujo en sentido horario, visto desde planta. Este es el principio de operación de éste elemento magnético denominado “efecto diodo”, ya que existe una superposición a nivel de campos magnéticos, que minimiza el efecto de las corrientes de retorno por tierra. Existe una superposición debida al campo del elemento activo y al provocado por una corriente inversa.⁸

2.8.3. Acoplador de admitancias

Básicamente es una barra de cobre que interconecta en su extremo inferior al electrodo estructural y en el otro a los cables que aterrizan el equipamiento, convirtiéndose en un punto equipotencial y único camino hacia tierra.

2.8.4. Mejorador de suelos

Consiste en una mezcla de carbón y cemento puzolánico, que presenta una resistencia constante en las inmediaciones del electrodo estructural. Se prepara como un cemento común, añadiendo y mezclando agua según especificación del fabricante, luego colocándolo en la fosa donde finalmente se instalará el electrodo estructural.

2.9. Aspectos normativos

2.9.1. Normas Peruanas

Las normas proporcionan los límites de diseño que se deben satisfacer y explican cómo los sistemas de puesta a tierra se pueden diseñar para ajustarse a ellos. Incluyen formulaciones para realizar los cálculos necesarios o una guía detallada sobre aspectos prácticos. Los sistemas de puesta a tierra deben ser diseñados para asegurarse que, durante una falla a tierra, los potenciales tanto en el terreno como en los conductores conectados al electrodo de tierra o en los conductores expuestos en la cercanía, estén dentro de los límites apropiados.

⁸ Faragauss Systems. Norma de instalación. Faragauss. Guadalajara, Jal: Faragauss, 2000

1. El Código Nacional de Electricidad – Utilización⁹

Aprobado por la R.M.Nº 037-2006-MEM/DM (2006-01-30)

Objetivo

El Código Nacional de Electricidad tiene 2 partes: suministro y utilización. El tomo utilización de suministro tiene por objetivo salvaguardar a las personas que trabajan en las concesionarias o contratistas durante la construcción, operación o mantenimiento de las líneas eléctricas. El tomo establece los parámetros considerados necesarios para la seguridad de las personas y la propiedad frente a los peligros que devienen del uso de la electricidad.

Alcance

Determina todos los pasos requeridos para instalar, operar y mantener instalaciones eléctricas.

Para el proceso de las instalaciones eléctricas interiores ha determinado:

- La utilización de conductores eléctricos con sección no menor a 2.5 mm² (070)
- La utilización obligatoria del sistema de puesta a tierra (060)
- La verificación, certificación y mantenimiento de las instalaciones (040)
- Las revisiones periódicas, una vez al año en el caso de instalaciones de uso público, dos veces al año, en el caso de establecimientos comerciales o públicos de poca concurrencia y cada cinco años, en el caso de viviendas unifamiliares y multifamiliares. (010)
- La ejecución de los trabajos por personal calificado y acreditado. (010-006)

Autoridad Competente y Sanciones:

El Código ha establecido que las autoridades competentes para sancionar las infracciones son: Las Municipalidades Provinciales y Distritales, OSINERGMIN y el Sistema Nacional de Defensa Civil.

⁹ <http://programacasasegura.org.pe/2010/10/21/marco-legal-peruano-para-instalaciones-electricas/>

2. Reglamento técnico de conductores eléctricos¹⁰

Ministerio de la Producción D.S.Nº187 2005 –EF (2005-12-29)

Objetivo

Establecer las características técnicas, así como el rotulado y el etiquetado que deben cumplir los conductores eléctricos de consumo masivo y de uso general, con el fin de que su utilización no sea un peligro para la vida y la seguridad de las personas.

Alcance

Establece que las empresas fabricantes e importadoras de conductores y cables eléctricos de consumo masivo y uso general deben asegurar que estos cumplan con los estándares de calidad relativos a:

- Resistencia técnica
- Espesor de aislamiento
- Resistencia de aislamiento
- Esfuerzo a la tracción y elongación antes de envejecer
- Esfuerzo a la tracción y elongación después de envejecer

Certificados de conformidad

Los fabricantes nacionales o importadores deberán asegurar el cumplimiento de todos los requisitos, ensayos y rotulados establecidos por el Reglamento a través de un certificado de conformidad por lote o un certificado de sello o marca de conformidad. Estos serán emitidos por Organismos de Evaluación de la Conformidad autorizados por el Ministerio de la Producción. Cuando se trate de productos importados pueden tener la certificación de su país de origen siempre y cuando los organismos que los acrediten estén reconocidos e inscritos en INDECOPI y en el Registro de Organismos autorizados por el Ministerio de la Producción.

¹⁰ <http://programacasasegura.org.pe/2010/10/21/marco-legal-peruano-para-instalaciones-electricas/>

Autoridad competente y sanciones

El Ministerio de la Producción ha establecido a las autoridades que realizarán las inspecciones o verificaciones en los centros de producción, almacenes, puntos de venta etc., con el fin de constatar que los conductores cumplan con el Reglamento Técnico. El incumplimiento deviene en una investigación administrativa y en la aplicación de sanciones que pueden llegar desde el decomiso hasta la clausura definitiva del centro de producción.

3. Normas técnicas Peruanas (NTP) INDECOPI

Objetivo

Establecer las condiciones que deben cumplir los materiales que deben ser utilizados en las instalaciones eléctricas; Asimismo, indicar los procedimientos y los productos utilizados en las instalaciones eléctricas. Finalmente, establece la acreditación de los instaladores electricistas y la certificación de las instalaciones que deberán llevar a cabo los mismos.

Algunas de las principales Normas Técnicas en el tema de seguridad son las siguientes:

NTP 370.312:2006

Acreditación de los instaladores electricistas de edificaciones residenciales con potencia contratada hasta 10kW, que establece cuál es el perfil profesional de los técnicos que llevarán a cabo la instalación eléctrica interior.

NTP 370.310:2005

Certificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en viviendas unifamiliares con una potencia contratada hasta 3kW, que establece los métodos de ensayo y la comprobación de la existencia de una puesta a tierra desde los tomacorrientes a la conexión al conductor de protección hacia su borne de puesta a tierra.

NTP 370.301:2002

Selección e instalación de equipos eléctricos y capacidad de corriente nominal de conductores en canalizaciones, en donde se indica los requerimientos necesarios para proveer una vida satisfactoria a los conductores de cobre, así como del aislamiento que deben tener para los efectos térmicos del transporte de corriente en el tiempo.

NTP 370.054:1999

Enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para uso doméstico y uso general similar, que indica los requisitos que deben cumplir los enchufes y tomacorrientes con protección a tierra para la conexión de conductores eléctricos.

NTP 370.053:1999

Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra y conductores de protección de cobre, que indica cómo debe ser la conservación y continuidad eléctrica de los conductores de protección de cobre.

2.9.1. Normas Internacionales¹¹

Cada país del mundo tiene estándares de calidad y de servicios, aprobados por las asociaciones encargadas; sin embargo, establecer y conocer cada una de ellas sería prácticamente imposible. Por ello abordaremos las normas y guías más socorridas en el ámbito internacional. Los estándares canadienses, como el CSA STANDARD. C22.1 -1990 (Código Eléctrico Canadiense), o los estándares internacionales como el INTERNATIONAL STANDARD. IEC 61024-1-2. 1998-05, no serán abordados en este punto, debido a su similitud con los estándares marcados por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que si tomaremos en cuenta.

1. IEEE GREEN BOOK STD 142-1991

Una de las normas más importantes internacionalmente es la publicada por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), llamada “Recommended Practice for Grounding for Industrial and Commercial Power Systems” (Prácticas recomendadas para la puesta a tierra de sistemas de potencia industriales y comerciales, también es conocida como Green Book Std. 142 1991). Esta publicación más que una norma es una serie de recomendaciones para el diseño e implementación de un sistema de tierras porque refleja la experiencia en el diseño y operación de sistemas eléctricos de la industria y sistemas comerciales de energía.

¹¹ Tesis “ Sistema de tierras para equipo eléctrico electrónico ” Hernández Morales Luis Adolfo

Entre los temas más importantes, y que hay que resaltar, están los métodos de conexión del neutro a un sistema de tierras que se pueden dividir en dos categorías: conectados sólidamente a tierra y a través de una impedancia (que puede ser reactiva, resistiva). Los diagramas en la figura siguiente ilustran mejor estos métodos

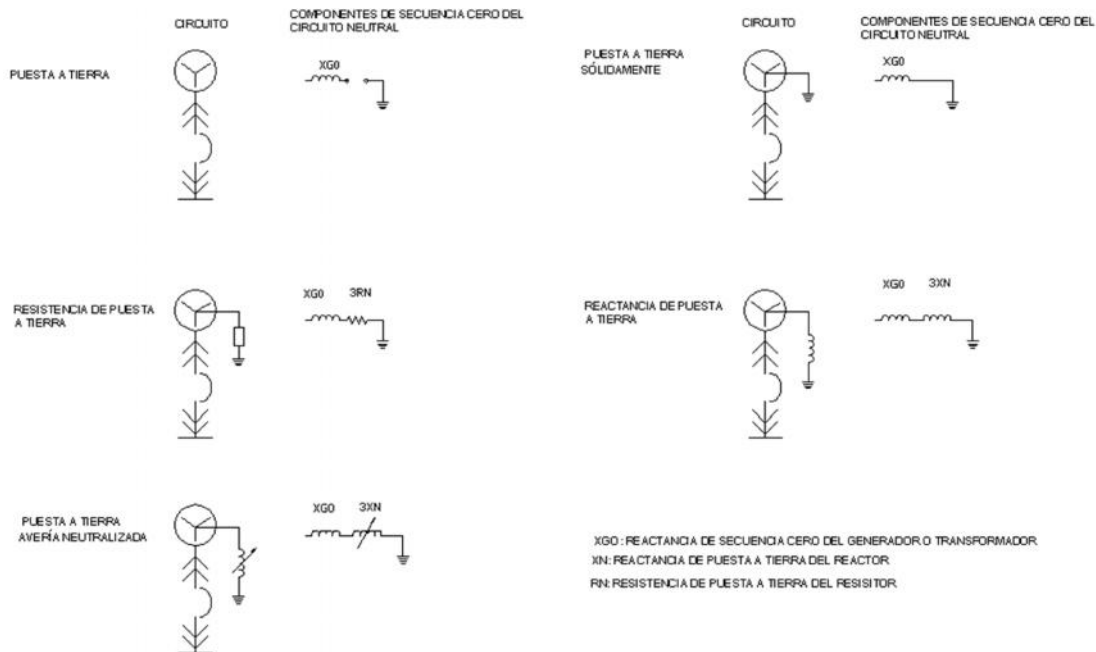


Fig. 2.9 . Conexiones del neutro a un sistema de tierras

Mientras que para sistemas que no cuentan con un neutro (por ejemplo sistemas con conexiones en delta) se utilizan dos diferentes métodos de conexión: Corner of the Delta Systems y One Phase of a delta system grounded at midpoint. La selección de cualquier método mencionado depende directamente de cómo los devanados del transformador o generador están conectados. Por sus características especiales para los generadores industriales se debe tener en cuenta cómo funciona el generador para ser conectado a tierra. También los UPS deben tener una especial atención para ser conectados a tierra. Estos temas están desarrollados en el primer capítulo de esta norma

El segundo capítulo es dedicado a la interconexión y conexión a tierra de elementos metálicos que no están energizados en un sistema eléctrico. Donde los objetivos principales son reducir el riesgo de descargas eléctricas al personal, proveer una adecuada capacidad de transportación de corriente de falla a tierra, tanto en magnitud como en tiempo, y proveer un

camino de baja impedancia, para la corriente de falla, necesaria para la oportuna operación del sistema de protección de sobrecorriente.

Las características que debe tener el cable o conductor de puesta a tierra (Grounding conductor) que se utiliza para realizar la puesta a tierra y los principales problemas con los que se encuentran los diseñadores de estos elementos, debido a los distintos entornos en los que deben operar, son los temas que toca el segundo capítulo de esta norma.

El tercer capítulo está dedicado a las cargas estáticas, su generación, y métodos para protegerse de los peligros de este fenómeno principalmente por medio de un sistema de tierras. El principal objetivo de controlar las cargas estáticas es la protección del ser humano, debido a que estas pueden entrar en contacto con material inflamable y crear explosiones o incendios, también se pretende proteger a equipo electrónico sensible debido al excesivo o rápido cambio de voltaje que pueda generar una carga estática.

Otro tema importante en este capítulo es la protección contra descargas atmosféricas por medio del sistema de tierra, estas descargas no pueden ser evitadas solo pueden ser interceptadas o derivadas a un camino donde no cause daños al equipo de una instalación eléctrica. En este capítulo se mencionan medidas que se pueden realizar para que las descargas atmosféricas no sean peligrosas para el personal y/o para las instalaciones eléctricas.

La conexión a tierra ocupa todo un capítulo en esta norma, donde es de gran importancia la resistencia del electrodo, la resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo y la resistencia del suelo donde se entierra el electrodo. Las recomendaciones para los valores de estas resistencias son muy similares a los mencionados en la norma peruana CNE-UTILIZACION.

En cuanto a la resistencia a tierra se presenta una tabla con fórmulas para calcularla. Los electrodos que se utilizan pueden ser divididos en dos grupos, cualquier estructura metálica enterrada instalada para otros propósitos diferentes a un sistema de tierras y electrodos específicamente diseñados para el propósito de un sistema de tierras. Este segundo grupo es estudiado en esta norma y menciona los diferentes electrodos que se utilizan comúnmente. La conexión de los electrodos está sugerida en esta norma. Los métodos para la medición de la resistencia a tierra son mencionados en este capítulo.

El último capítulo está dedicado a sistemas de tierra para equipo electrónico sensible, como computadoras PLC'S etc. La operación con una tensión baja hace a estos equipos susceptibles a las variaciones de tensión muy por debajo de los niveles que son perceptibles por los humanos y que no tiene efecto en otro equipo eléctrico.

En este capítulo se hace una clara descripción de los elementos que deben ser conectados a tierra, por un lado, tenemos los elementos de un sistema eléctrico, donde se aterriza el sistema (es decir el neutro del sistema) y todo el equipo metálico que no conduce energía. El equipo electrónico sensible en los que podemos encontrar varios tipos de ellos como son:

- Signal common grounding, también conocida como “puesta a tierra de señal”. Los sistemas de referencia cero para comunicación son uno de los sistemas que requiere un estable punto de referencia con respecto a un punto de tensión.
- DC power supply reference ground bus (tierra de voltaje de referencia. Comúnmente las computadoras tienen varios niveles de tensión con los que funcionan diferentes dispositivos por ejemplo +12 / 0 / -12 V, +24 / -24 V.
- Equipment Ground Bus. (Tierra del equipo). Aquí se incluyen los elementos metálicos, como gabinetes de computadoras o de otros equipos etc.

Los diferentes métodos como se puede interconectar estos sistemas están desarrollados en este capítulo.

2. IEEE EMERALD BOOK STD 1100-1999.¹²

El IEEE también tiene otra publicación relacionada a los sistemas de tierras nos referimos al IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (Prácticas recomendadas de energización y puesta a tierra de equipo electrónico, también conocido como Emerald Book Std. 1100). Esta publicación es dedicada principalmente a los sistemas en donde encontramos equipo electrónico sensible, que en la última década se ha incrementado muy rápido

Lo que busca esta norma es proporcionar un consenso de las prácticas recomendadas en esta zona que en ocasiones es conflictiva y donde la información y la confusión, derivados

¹² Tesis “ Sistema de tierras para equipo eléctrico electrónico ” Hernández Morales Luis Adolfo

principalmente de diferentes puntos de vista de un mismo problema, han dominado. Estas cargas electrónicas que las encontramos en el sector industrial y comercial generan un problema con la calidad de la energía



Fig. 2.10 Punto de unión de conductores de puesta a tierra en tablero.

La alimentación de estos equipos, así como el sistema de tierra que necesitan ha sido una preocupación creciente para los diseñadores de sistemas de energía. Esta preocupación frecuentemente se materializa después de la puesta en marcha del sistema electrónico cuando los problemas de funcionamiento empiezan a ocurrir. Los esfuerzos para aliviar estos problemas han ido desde la instalación de equipos de acondicionamiento de potencia a la aplicación de técnicas especiales de tierra que no se encuentran en condiciones de seguridad en la práctica convencional. En algunos casos, este enfoque ha dado lugar a prácticas peligrosas y violaciones de otras normas, sin solución de los problemas de funcionamiento. En respuesta a esta situación, surge esta publicación o norma que intenta crear un entendimiento de los fundamentos de la tierra y la alimentación de los equipos electrónicos y los diversos tipos de problemas que pueden surgir. A continuación, daremos una breve descripción de los capítulos y de los temas más sobresalientes que esta norma menciona, ya que este capítulo pretende solo hacer un listado de las normas más utilizadas en la industria., a nivel nacional e internacional.

El capítulo 2 presenta las definiciones de los términos que se refieren a cuestiones de calidad de potencia y que por lo general no están disponibles en las normas de IEEE. También se ofrece una lista de términos que se han evitado deliberadamente en esta práctica recomendada, ya que tienen varios significados diferentes y generalmente no se acepta solo una definición técnica.

En cuanto al capítulo 3, nos proporciona las necesidades generales de una norma. Este capítulo tiene por objeto identificar los códigos y las normas pertinentes, así como los entornos eléctricos existentes a la que suele ser sometido el equipo. Esta norma se ha establecido como base para el tratamiento de la instrumentación, la selección de los equipos, y las prácticas recomendadas en los capítulos siguientes. Y presenta una breve descripción de la naturaleza de los problemas que afectan la calidad de energía y sus posibles soluciones. Frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría son los cuatro parámetros de un sistema de energía que sirven como marco de referencia para examinar la calidad de la energía de un sistema.

El rápido cambio en la industria de la electrónica y las comunicaciones hace casi imposible para ingenieros y diseñadores ser expertos en todo lo relacionado a estas disciplinas. El capítulo 4 introduce a los conceptos fundamentales necesarios para comprender y aplicar las prácticas recomendadas para el diseño de una compatible interconexión del sistema de energía esencialmente libre de peligro. Fundamentos no exclusivos de equipos eléctricos y electrónicos que se trata a la ligera, o por referencia a otras normas, además de la impedancia total de un sistema es estudiada en este capítulo dividiéndola en cuatro partes fundamentales: la fuente de energía, la distribución, la impedancia de la carga y el lazo entre la impedancia del sistema y del sistema de tierra (the grounding/bonding system's impedances). La relación entre impedancia y frecuencia son discutidas en este capítulo. Los sistemas de tierra diseñados para equipo electrónico pueden ser conceptualizados con cuatro subsistemas que se analizan en este capítulo.

El capítulo 5 presenta la información disponible sobre los instrumentos de medición que son útiles para la investigación y el diagnóstico de los problemas en los sistemas de energía que sirven a los equipos electrónicos.

El capítulo 6 presenta los fundamentos de cómo llevar a cabo un estudio para la identificación de problemas. La recomendación enfoque es empezar con el cableado y los

controles de tierra y el progreso a través de mediciones de la tensión de perturbación para el análisis armónico.

Sobre el capítulo 7 se presenta la gran cantidad disponible de dispositivos que ayudan a eliminar los problemas como el ruido, la forma de onda, el cambio o estabilización de la tensión y cambios en la frecuencia. Especificación, verificación de rendimiento, y el mantenimiento también están cubiertos.

En lo que respecta al capítulo 8 que abarca las recomendaciones para el diseño y la instalación prácticas para la alimentación de equipos electrónicos y la conexión a tierra. La intención es presentar la experiencia colectiva de la ingeniería y la sentencia de prácticas efectivas

Finalmente, el capítulo 9 abarca las recomendaciones de diseño y las prácticas de instalación comunes para la energización y puesta a tierra de sistemas de cómputo y equipos de telecomunicaciones. El capítulo se hace un amplio uso de los actuales estándares de la industria, como los estándares ANSI T1, y especificaciones de la industria, como las de BICSI y Bellcore.

3. IEEE STD-80.

Otra publicación del IEEE es Guide for safety in AC Substation Grounding (Guía de seguridad de puesta a tierra de SE de corriente alterna). Esta guía se refiere principalmente a subestaciones de c.a. al aire libre, ya sea convencional o de gas aislado. Distribución, transmisión, subestaciones y plantas de generación están incluidos. Con la debida cautela, los métodos descritos en ese documento son también aplicables a las partes interiores de esas subestaciones, o de subestaciones que están totalmente en interiores. En esta guía no se pretende abarcar los problemas propios de las subestaciones de CC. El análisis cuantitativo de los efectos de las descargas atmosféricas también está más allá del alcance de esta guía. Los fines concretos de esta norma son:

- Establecer, como base para el diseño, los límites de seguridad que deben existir en una subestación bajo condiciones de falla entre puntos que pueden entrar en contacto con el cuerpo humano.

- Revisar las prácticas con las que se realizan los sistemas de tierras en subestaciones, con especial referencia a la seguridad y desarrollar criterios para un diseño seguro.
- Desarrollar los métodos de análisis como una ayuda en la comprensión y solución de problemas típicos.
- Proporcionar un procedimiento para el diseño práctico de un sistema de tierras, sobre la base de estos criterios



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL SISTEMA

DE PUESTA A TIERRA DEL TIPO

ESTRUCTURAL

3.1. Introducción

Los sistemas de puesta a tierra de nueva generación tipo estructural están diseñados para proporcionar seguridad absoluta para la integridad física de las personas; protección a equipos eléctricos y electrónicos.

3.2. Generalidades

Es un sistema unidireccional, multiaterrizado que drena las fallas por diferentes puntos y retorna a tierra cualquier tipo de inducción de corriente proveniente del subsuelo.

Los sistemas de puesta a tierra tipo estructural aterrizan y protegen de manera efectiva los equipos electrónicos, cableado estructurado, clósets de telecomunicaciones, distribuidores, bloques de conexión, gabinetes, etc., protegiéndolos contra corrientes de falla e inducciones de corriente.

3.3. Componentes del sistema de puesta a tierra tipo estructural.

Básicamente, un sistema de puesta a tierra estructural consta de los siguientes componentes:

- Electrodo estructural.
- Elemento magnéticamente activo
- Acoplador de admitancias.
- Mejorador de suelos.

3.3.1. Electrodo estructural

El electrodo está fabricado de cobre puro al 100%, las piezas están unidas con cobre, así esta estructura soporta cantidades extremas de energía en régimen permanente, incorpora un filtro el cual permite la UNIDIRECCIONALIDAD, esto quiere decir que la energía fluye en un solo sentido de arriba hacia abajo permitiendo así que la energía nunca permite fluir en sentido contrario, así garantizamos la protección de todos los equipos que se encuentran conectados al electrodo.

La estructura generalmente es de cobre, no es maciza, sino es una combinación de tubos, placas y/o conos de dicho material, unidos entre sí por medio de soldaduras acero plata, que soportan los esfuerzos mecánicos producto del paso de corrientes de alta magnitud. La estructura puede ser tratada con impregnación anticorrosiva (sulfato de zinc). La forma que el electrodo tiene, maximiza el contacto con el terreno; a mayor área, menor resistencia. Las propiedades físicas incluyen el comportamiento eléctrico, magnético, térmico, elástico y químico.

Para evitar la falla del cobre y prolongar su vida útil; el recubrimiento (sulfato de zinc), evita la producción de vapor en las fronteras del material conductor y el terreno, su aplicación electrostática inhibe la disolución de hidrógeno en el cobre en presencia de oxígeno residual.¹³



Fig. 3.1.- electrodo estructural de ultima generacion

¹³ <http://www.faragauss.com/inicio/sistpuestatierra.php>

3.3.2. Elemento magnéticamente activo

Este es el elemento que marca la verdadera diferencia entre un sistema convencional y uno estructural. Es un elemento magnético que permanentemente está activo sin ayuda de ningún medio externo, sino por la producción magnética natural de imanes permanentes que orientan su flujo en sentido horario, visto desde planta. Este es el principio de operación de éste elemento magnético denominado “efecto diodo”, ya que existe una superposición a nivel de campos magnéticos, que minimiza el efecto de las corrientes de retorno por tierra.

Según la ley de Ampere, cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, se produce un campo magnético de magnitud proporcional a dicha corriente y que girará en el sentido que marca la regla de la mano derecha. Si se considera que una corriente fluyendo hacia el subsuelo (descendente) provocará un campo magnético en sentido horario (visto desde planta), mientras que una corriente en sentido inverso (ascendente), provocará un campo magnético en sentido contra horario, se puede deducir que el elemento magnéticamente activo favorece a unas y contrarresta a otras.¹⁴

3.3.3. Acoplador de admitancias

Básicamente es una barra de cobre que interconecta en su extremo inferior al electrodo estructural y en el otro a los cables que aterrizan el equipamiento, convirtiéndose en un punto equipotencial y único camino hacia tierra.

¹⁴ 3. Faragauss Systems. Norma de instalación. Faragauss. Guadalajara, Jal: Faragauss, 2000



Fig. 3.2 .- Acoplador de admitancias

3.3.4. Mejorador de suelos

El mejorador de suelo es una mezcla de carbón y cemento puzolánico, que presenta una resistencia constante en las inmediaciones del electrodo estructural. Se prepara como un cemento común, añadiendo y mezclando agua según especificación del fabricante, luego colocándolo en la fosa donde finalmente se instalará el electrodo estructural. Su función es disminuir la resistividad del terreno. Es un compuesto electroacondicionador de suelos higroscópico (composición de estructura orgánica con material que se coagula ante la humedad).

Tiene un tiempo de fraguado, según fabricante, de 18 a 22 días, alcanzando entonces su estado sólido final. La mezcla recomendada consiste en 25 kilogramos de mejorador mezclados con 5 galones de agua, aplicándolo el componente directamente al fondo de foso. El extremo inferior del electrodo estructural debe quedar completamente inmerso en el componente. En algunos casos donde la composición química del suelo es altamente alcalina, se recomienda que se aplique tanto compuesto como sea necesario, a fin que toda la estructura de cobre quede inmersa.



Fig. 3.4 Detalle del conjunto de puesta a tierra estructural

3.4 Criterios técnicos y procedimientos de cálculo.

Los criterios de este sistema de puesta a tierra tipo estructural considera lo siguiente:

a. Tipo de instalación

Se considera si es comercial, residencial ó industrial, para así determinar el arreglo de electrodo(s) más conveniente

b. Equipo a proteger

Se analiza si en la misma instalación existe una fuerte combinación de equipos industriales como motores eléctricos, bombas, etc. y equipos sensibles como computadoras, sensores, etc., para entonces considerarla adecuada separación de sus puestas a tierra sin perder equipotencialidad.

c. Corriente de corto circuito

Este dato es fundamental en el diseño, pues es el punto de partida para el dimensionamiento del sistema, dicho dato lo podemos obtener en función de las cargas eléctricas del sistema eléctrico a proteger.

3.4.1. Cálculo de corriente de corto circuito

Dicho cálculo es muy importante para realizar el diseño del sistema de puesta a tierra, del sistema estructural, es el cálculo de la corriente de corto circuito máxima de la instalación a proteger, ya que el sistema deberá ser lo suficientemente adecuado para tolerar el paso de esta corriente sin generar tensiones de toque y paso peligrosos. Se debe seleccionar la potencia aparente máxima instalada que resulte de acuerdo al arreglo de interconexión de la infraestructura eléctrica y potencia que se utilizará de la siguiente manera:

$$I_{cc} = \frac{\text{Potencia Aparente de Transformador (kVA)}}{\sqrt{3} \times V_f \text{ (kV)}}$$

Con el resultado anterior y buscando este valor o uno próximo en tablas de selección del fabricante, se elige el modelo y cantidad de electrodos a instalar.

Tipos de conexiones del sistema estructural

Es el tipo de conexión que se elija, siendo dos las posibilidades:

- Protección por conexión en serie
- Protección por conexión en paralelo

a.- Protección por conexión en serie¹⁵

Este tipo de interconexión tiene gran facilidad de instalación y menor costo, sin embargo, tiene problemas de acoplamiento por las impedancias comunes en todas las líneas de masa, así mismo no garantiza una buena reducción del efecto de interferencias electromagnéticas y disminución de descargas electrostáticas.

En la figura siguiente se muestra un esquema simplificado de esta conexión.

¹⁵ DIAZ, Pablo. Soluciones prácticas para sistemas de tierra

$$V_A = (I_1 + I_2 + I_3) * R_1$$

$$V_B = (I_1 + I_2 + I_3) * R_1 + (I_2 + I_3) * R_2$$

$$V_C = (I_1 + I_2 + I_3) * R_1 + (I_2 + I_3) * R_2 + I_3 * R_3$$

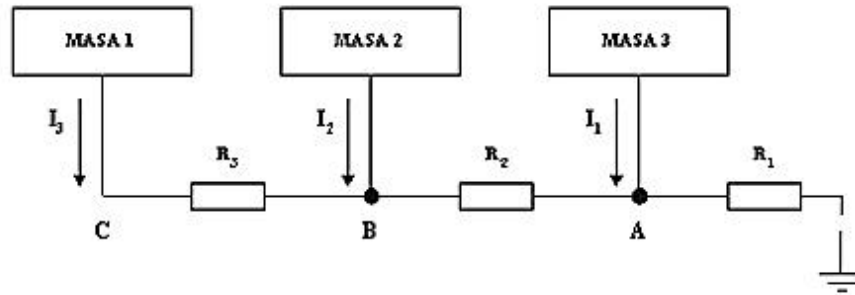


Fig. 3.5 Protección por puesta a tierra en serie

En la conexión en serie hay interacción en las masas de los diferentes equipos, por lo que no es recomendable realizar estas conexiones cuando se tienen equipos electrónicos de alta rapidez de respuesta y cuando se tienen circuitos que trabajen en forma compatible y con niveles de alimentación (tensiones) de gran diferencia, ejemplo: circuitos de potencia y mando (control).

b. Protección por conexión en paralelo¹⁶

En este sistema la interconexión se realiza de tal manera que cada conexión de las masas se concentra en un solo punto, como se aprecia en la figura siguiente. En el arreglo esquemático, se eliminan las impedancias comunes en las líneas de masa, requiriendo mayor cantidad de conductor. Pero obteniendo una mejor configuración en cuanto a su funcionamiento.

¹⁶ DÍAS, Pablo. Soluciones prácticas para sistemas de tierra

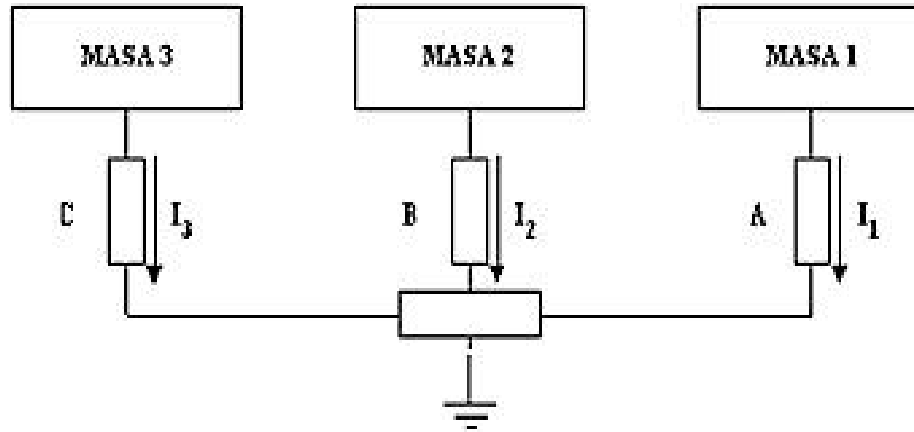


Fig. 3.6 Protección por puesta a tierra en paralelo

Las tensiones en los diferentes puntos, indicados y referidos a la figura anterior serian:

$$V_A = I_1 \cdot R_1$$

$$V_B = I_2 \cdot R_2$$

$$V_C = I_3 \cdot R_3$$

De acuerdo a los valores anteriores de tensión, se puede definir que las variaciones de las corrientes de un punto no afectan a los otros puntos, lo que dependería únicamente de la impedancia de su propia masa y conductor. De esta forma esta conexión presenta mayores ventajas cuando las impedancias son dominadas por un alto valor resistivo, sobre todo cuando se tienen interferencias de operación a bajas frecuencias. Cuando la operación de cualquier sistema se encuentra bajo un valor de interferencia de altas frecuencias dominante, la longitud de los conductores de masa a tierra llegan a ser importantes en lo que respecta a los efectos inductivos, inclusive se pueden producir acoplamiento del tipo tanto inductivo como capacitivo entre conductores adyacentes, por ello, los fabricantes recomiendan que longitud máxima desde el punto central del electrodo estructural hacia el punto más lejano no exceda los 285 metros.

3.5 Métodos de montaje.

El método de montaje es muy importante en los sistemas estructurales, tiene un proceso bien definido para su instalación, de acuerdo a lo siguiente:

3.5.1. Elaboración del foso

Las dimensiones de la excavación serán acordes a las dimensiones del electrodo a instalar y según especificaciones del fabricante. Las paredes del foso deberán ser verticales, con tolerancia de +/- 5% como máximo. Se procederá a colocar una capa de 10 cm de tierra tratada y debidamente compactada, la cual funcionará como base de activación de la placa inferior del electrodo que en lo sucesivo se denominará “ánodo”.



Fig. 3.7.- Foso para el electrodo

3.5.2. Preparación del material de relleno

Después que se realiza la excavación hay que cernir dicha tierra para excluir los elementos como piedras que aumentarían la resistividad del terreno, sobre todas aquellas piedras mayores de un tamaño de 2 centímetros se deberán extraer del volumen total del material producto de la excavación en forma manual o por algún sistema mecánico.

3.5.3. Mezcla ¹⁷

Una vez realizado la excavación y preparado el material de relleno entonces se mezcla el material producto de la excavación con el mejorador de suelos por medio manual o

¹⁷ Faragauss System. Norma Faragauss

mecánico, buscando el mezclado más homogéneo. Además, se deberá de incorporar agua para proporcionar la humedad requerida para que las capas en el momento de la compactación tengan la consistencia requerida.

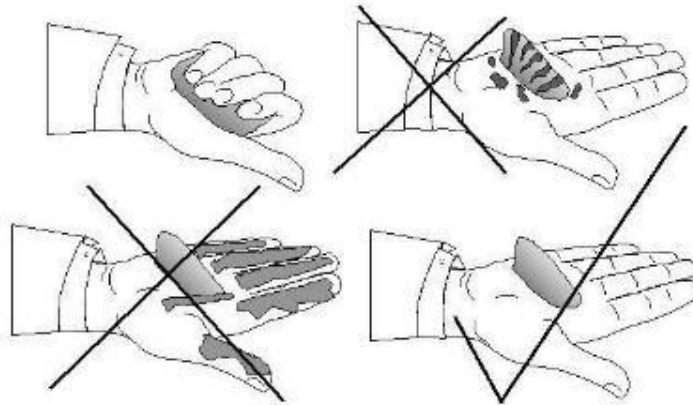


Fig. 3.8 .- Método para revisión de mezcla

3.5.4. Nivelación del electrodo y relleno del foso

El electrodo debe estar en una posición vertical, por lo que será necesario auxiliarse de un medidor de nivel al momento de su fijación al fondo del foso.



Fig. 3.9 .- Nivelación del electrodo

Manteniendo la nivelación del electrodo, se procederá al relleno del foso, en capas de 10 centímetros, procediendo a la compactación de éstas, cuidando de no dañar mecánicamente al electrodo.¹⁸

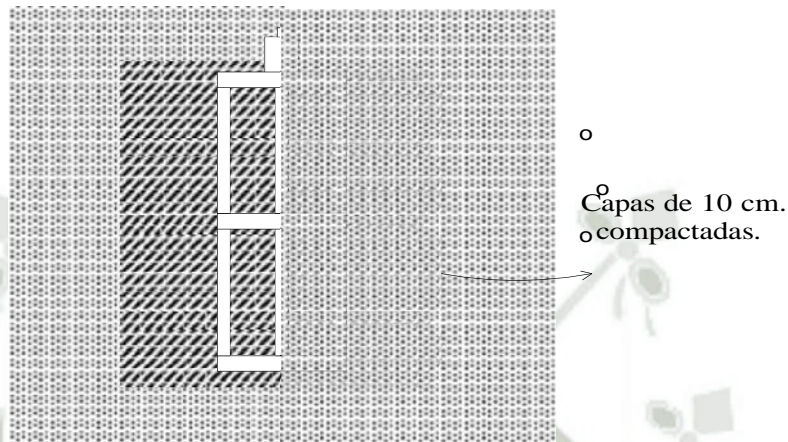


Fig. 3.10 .- Detalle del material de relleno

El relleno deberá llegar a un nivel máximo de 5 centímetros por debajo de la cara superior del dispositivo, de acuerdo a la figura anterior.

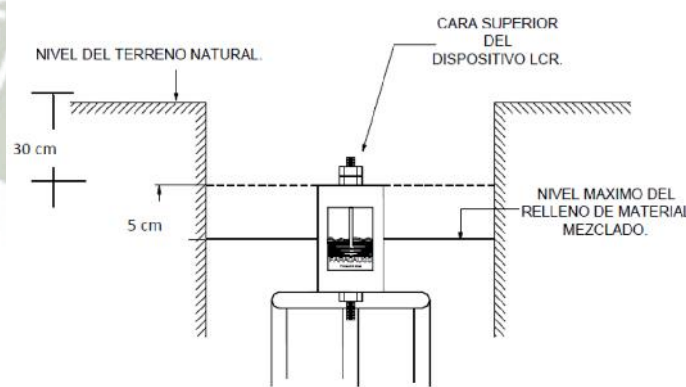


Fig. 3.11 .- Detalle del conjunto de la instalación

3.5.5. Factor de agrupamiento

Se considera cuando se instalan más de electrodos en la misma instalación, se deben considerar las limitaciones en el factor de agrupamiento, es decir, no se deben instalar a una distancia menor de 5 metros entre ellos (tomando como extremos los centros

¹⁸ Total Ground System. Guías de instalación

geométricos), esto para evitar solapamiento entre sus áreas de influencia. Es decir que tienen que estar separados para un mejor funcionamiento.

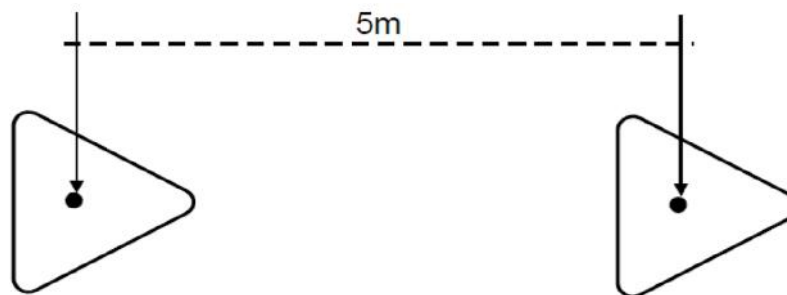


Fig. 3.12 .- Distancia mínima entre electrodos

3.6 Métodos de medición del sistema.

Se procederá a realizar mediciones del sistema estructural como cualquier sistema de puesta a tierra, tiene como finalidad ofertar un camino de baja impedancia a las corrientes de falla, por ello la medición más importante al finalizar con la instalación es la impedancia resultante, que en el caso de un sistema estructural no deberá superar los 2 Ohms, medidos con el método de inducción. También deberá medirse la resistencia total con los métodos Wenner y caída de potencial, y comparar valores antes y después de la instalación. Además, se deberá verificar aprietes en bornes, separación adecuada de aplicaciones de puesta a tierra, identificación de conductores, etc.

Los métodos más importantes se describen a continuación:

3.6.1. Método de los dos puntos o dos polos.

En este método se mide la resistencia del electrodo en estudio, más la resistencia de un electrodo auxiliar; esta resistencia se considera muy pequeña por lo cual el resultado del estudio es la resistencia del electrodo en estudio. Este método se utiliza para la medición de un electrodo simple instalado en un área residencial donde se tiene un sistema de suministro de agua que utiliza tuberías metálicas que será utilizada como electrodo auxiliar. En la siguiente figura se muestra un diagrama de conexiones que se deben realizar para hacer la medición de resistencia del electrodo simple. Obsérvese que las terminales C1 y P1 al igual que las terminales C2 y P2 son unidas con un puente para realizar este método.

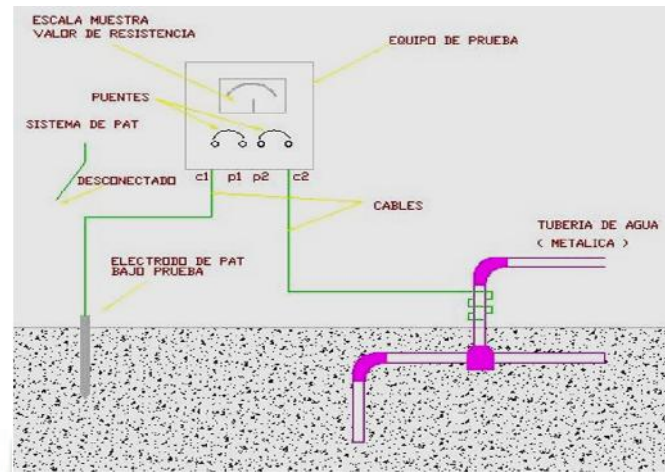


Fig. 3.13.- Método de los dos puntos

Este método depende de la continuidad de la tubería y de que la misma no esté conectada a otro sistema, por lo que se mediría la resistencia de todo el conjunto y la medición carecería de validez.

3.6.2. Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.

En la siguiente figura se muestra el diagrama que se debe seguir para conectar el Teluometro para realizar las mediciones por este método. Las terminales C1 y P1 están conectadas mediante un puente. Este método también es conocido como “método del 62%”.

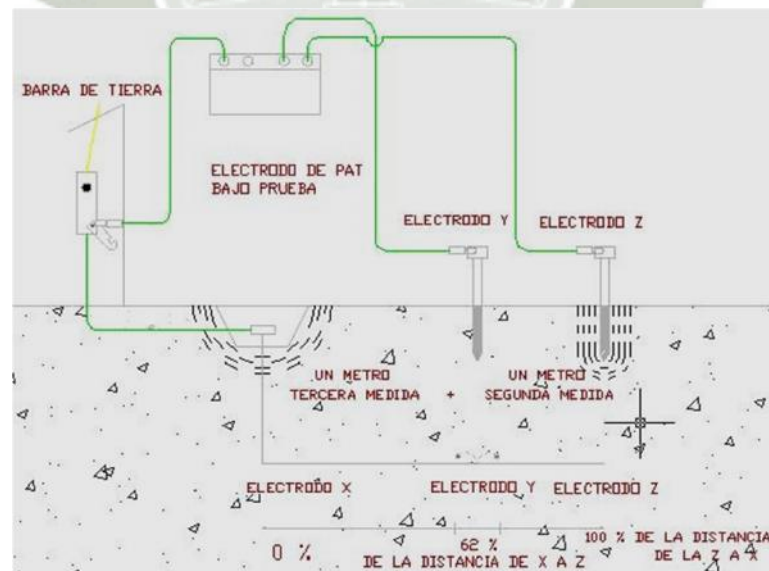
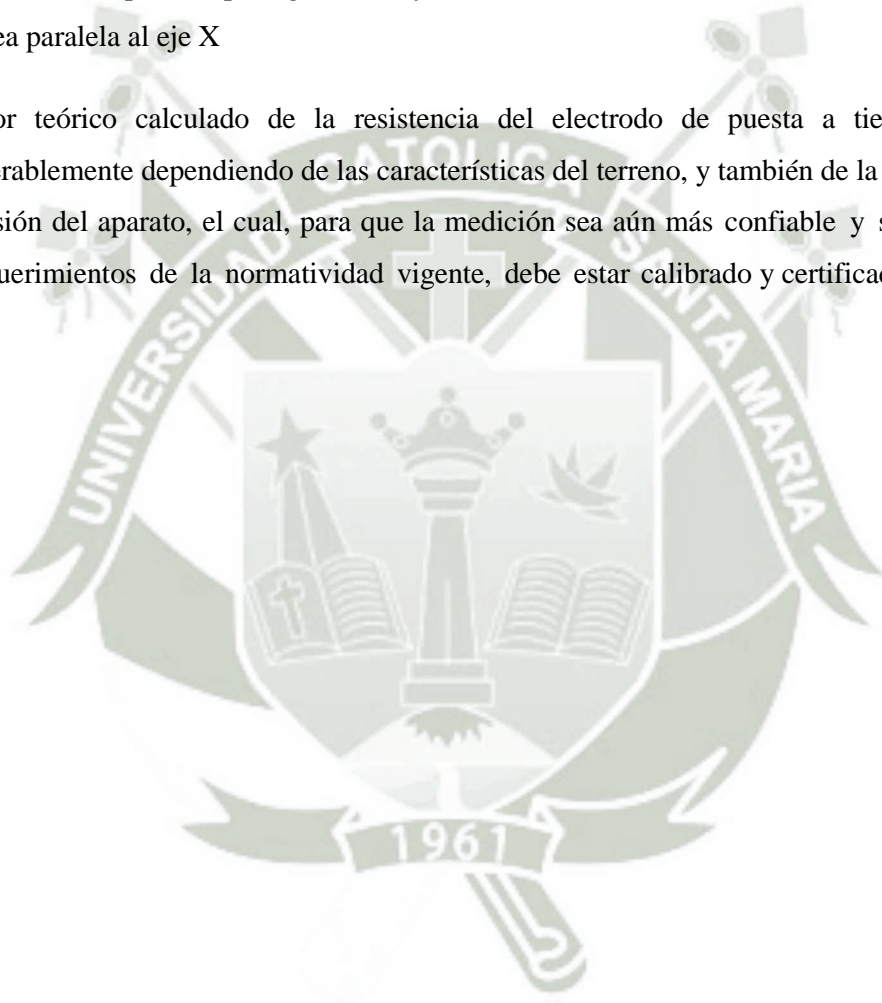


Fig. 3.14 .- Método de caída de potencial

Este método consiste en inyectar corriente a través de un electrodo de prueba llamado “de corriente” y medir el alza de potencial con otro electrodo auxiliar llamado “de potencial”. Una vez conociendo el valor de tensión y el valor de corriente se puede determinar la resistencia mediante la ley de Ohm.

Los tres electrodos se deben mantener en una línea recta y se va corriendo el electrodo de potencial hacia el electrodo de corriente para realizar mediciones sucesivas de resistencia. De acuerdo a los valores obtenidos, se realiza una tabla con las distancias y la resistencia óhmica obtenida, para después graficarse y obtener una resistencia característica, trazando una línea paralela al eje X

El valor teórico calculado de la resistencia del electrodo de puesta a tierra varía considerablemente dependiendo de las características del terreno, y también de la exactitud y precisión del aparato, el cual, para que la medición sea aún más confiable y siguiendo los requerimientos de la normatividad vigente, debe estar calibrado y certificado.



CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

DEL TIPO ESTRUCTURAL PARA EL (CME)

DE LA U.C.S.M.

4.1. Requerimientos del diseño

Es motivo de la elaboración del presente capítulo es el diseño del sistema de puesta a tierra de nueva generación tipo estructural para el laboratorio de Mediciones - Microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM, por Scanning Electron Microscope) de propiedad de la Universidad Católica de Santa María.

Este laboratorio de última generación requiere de especificaciones de instalación muy especiales, en la parte estructural y de instalaciones eléctricas, lo más necesario para un funcionamiento correcto además para que el equipo no se dañe es el requerimiento de un valor de resistencia de puesta a tierra de 0.5 Ω es decir menor a 1 ohmio, además que este valor se mantenga constante en el tiempo de uso del equipo, este laboratorio nuevo se está acondicionando en el primer nivel de un pabellón existente (G).

El presente proyecto, se desarrolla sobre la base de los Planos de la Propuesta de Distribución Arquitectónica del mismo, bajo los criterios de selectividad y funcionalidad de las instalaciones y sistemas, previendo la seguridad,

Se han tomado en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- Tensión nominal : 380/220 V
- Sistema : Trifásico
- Factor de Potencia de la carga : 0.9
- Factores de Demanda : De acuerdo al CNE-Utilización y R.N.E.
- Máxima caída de tensión para los alimentadores : 2.5 %
- Máxima caída de tensión total para los Alimentadores y circuitos derivados : 4 %

- Perdidas máximas : 3 %
- Frecuencia : 60 Hz.
- Máxima demanda : 20KVA

4.2. Estudio y medición de la resistividad eléctrica

La metodología utilizada para determinar la resistividad del terreno en cada sitio de estructura se basa en el método de Wenner, el cual es el más utilizado en medidas de resistividad. Este método consiste en un arreglo de cuatro electrodos espaciados igualmente como se muestra en la Fig. 4.1.- siguiente. Los cuatro electrodos están enterrados en la tierra a lo largo de una **línea** recta espaciados uniformemente y la longitud de enterramiento no debe ser menor que el 10% del espacio entre dos electrodos adyacentes.

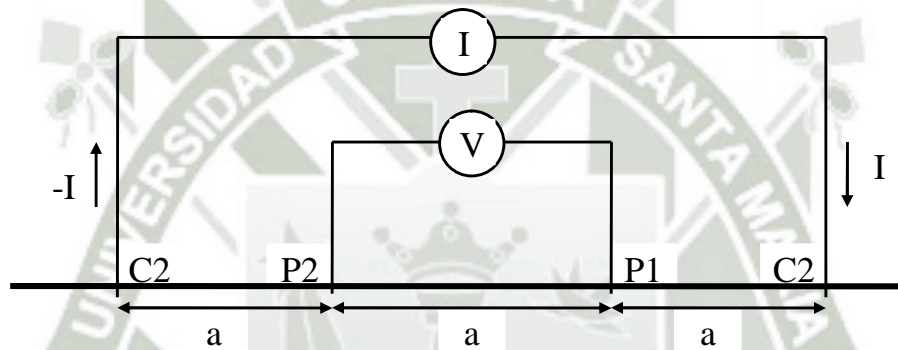


Fig. 4.1.- Arreglo de electrodos método Wenner

La corriente I es inyectada a la tierra por los electrodos exteriores y la diferencia de potencial V de la superficie de la tierra es medido por los electrodos internos. Los electrodos externos son llamados electrodos de **corriente** y los interiores electrodos de potencial. El papel de cada par de electrodos puede ser intercambiado sin cambiar la respuesta eléctrica, relación V/I . Esta relación, que mide el valor de la resistencia, es proporcional a la variable descrita como resistividad aparente ρ_a a una distancia a . El factor de proporcionalidad entre V/I y ρ_a es llamado factor geométrico α . La ecuación de resistividad es la siguiente:

$$\rho_a = r * \frac{V}{I}$$

Cuando se asume una tierra uniforme el factor α es una función lineal del espaciamiento entre los electrodos y de la relación V/I . Este factor α resulta de resolver la ecuación

siguiente, donde dR es la resistencia de un volumen de tierra encerrado entre dos superficies equipotenciales, ambas igual a $2\pi r^2$, y U es el potencial medido en un punto dado:

$$IdR = (U + dU) - U = dU$$

Cuando la solución se aplica para el método Wenner, los potenciales son determinados para cada electrodo de potencial, por lo cual se obtiene la siguiente ecuación de resistividad:

$$\rho_a = 2 \cdot f \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

De este modo se concluye que el factor geométrico α es igual a $2\pi a$.

EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para realizar las medidas de resistividad del terreno fue el teluometro MTD-20KWe marca MEGABRAS., dicho equipo fue prestado del Laboratorio de Electricidad y maquinas eléctricas de la U.C.S.M.



Fig. 4.2 .- Teluometro MTD-20KWe MEGABRAS

Las mediciones de resistividad de terreno se realizaron con un medidor MTD-20KWe, con 4 electrodos, configuración Werner e interpretación de las medidas de terreno mediante

curvas patrón Orellana Mooney. Los valores obtenidos de resistividad de terreno, se muestran en la Tabla N° 4.11

TABLA N° 4.1
Valores obtenidos de resistividad

N° de Medición	L (m)	...
1	0,6	14,67
2	0,8	25,58
3	1	44,23
4	1,6	129,32
5	2	190,23
6	3	375,97
7	4	810,21
8	5	890,87
9	8	1102,45
10	10	1283,3
11	12	1545,1
12	14	1412,9
13	16	1216,6
14	18	406,13
15	20	398,64
16	25	469,54
17	30	572,93

CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

1.- Modelo de resistividad uniforme

Valores medidos de resistividad:

Distancia entre electrodos:

Número de medidas:

17

Resistividad aparente 1:

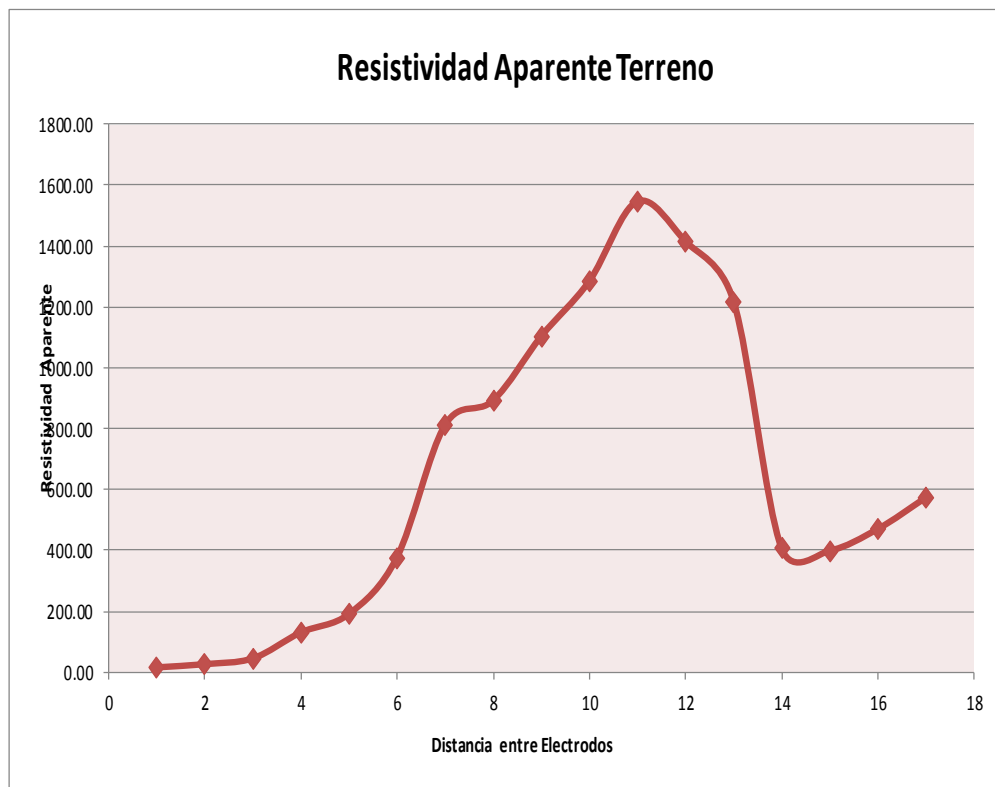
640.51 ·m

Resistividad aparente 2:

779.885 ·m

Resistividad aparente a:

779.885 ·m



2.- Modelo suelo de dos capas

Valores medidos de resistividad:

Distancia entre electrodos: insertar valores en Tabla 1

Resistividad aparente ρ_a : **39.31302** $\cdot m$

Distancia entre electrodos para resistividad aparente ρ_a : 28.91111 m

Resistividad capa superior ρ_1 : **26.45005** $\cdot m$

Resistividad capa inferior ρ_2 : **108.6371** $\cdot m$

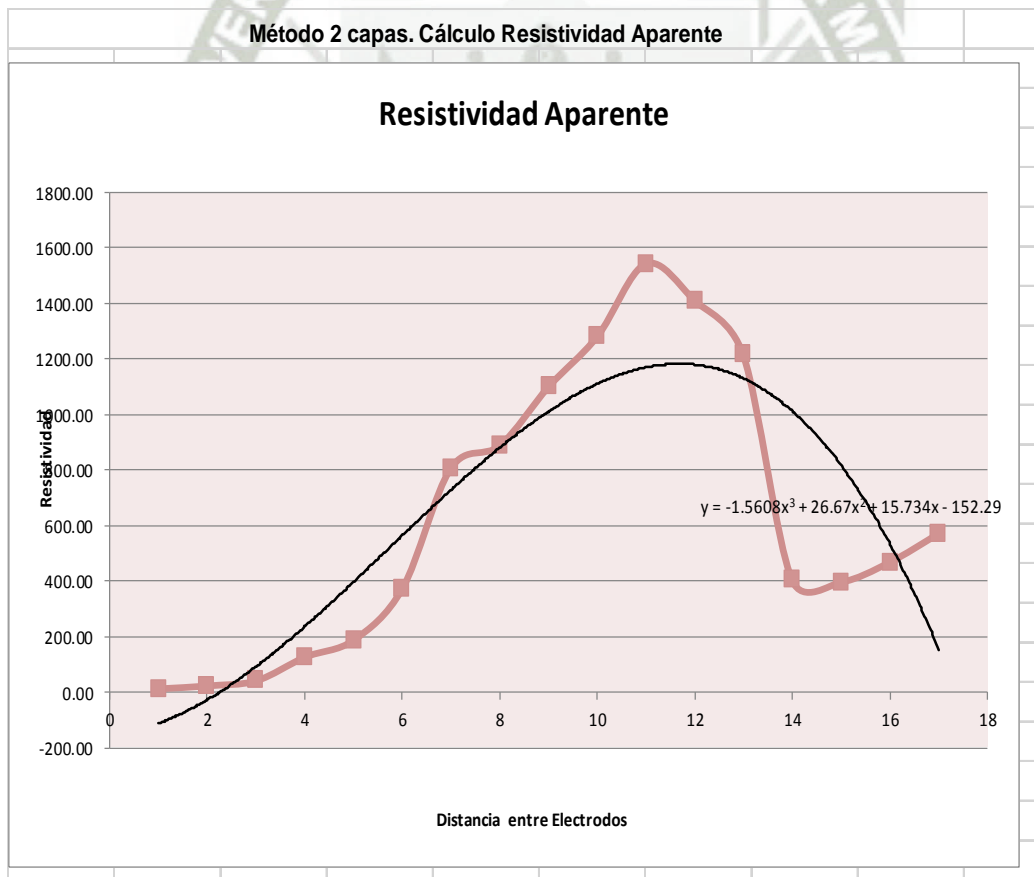
Relación ρ_2 / ρ_1 : 4.107253

Relación ρ_a / ρ_1 : 1.486312

Relación a/h (Gráfico de Sunde): **1.5**

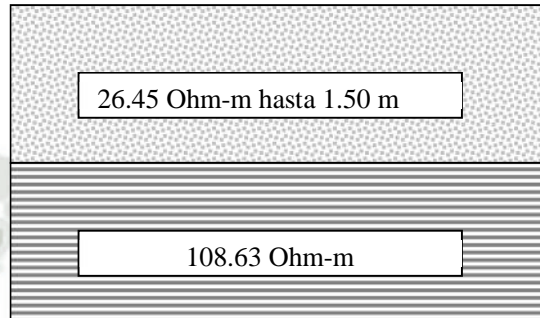
Profundidad primera capa h (Gráfico de Sunde): 19.27407 m

Coefficiente reflexión K : 0.6084

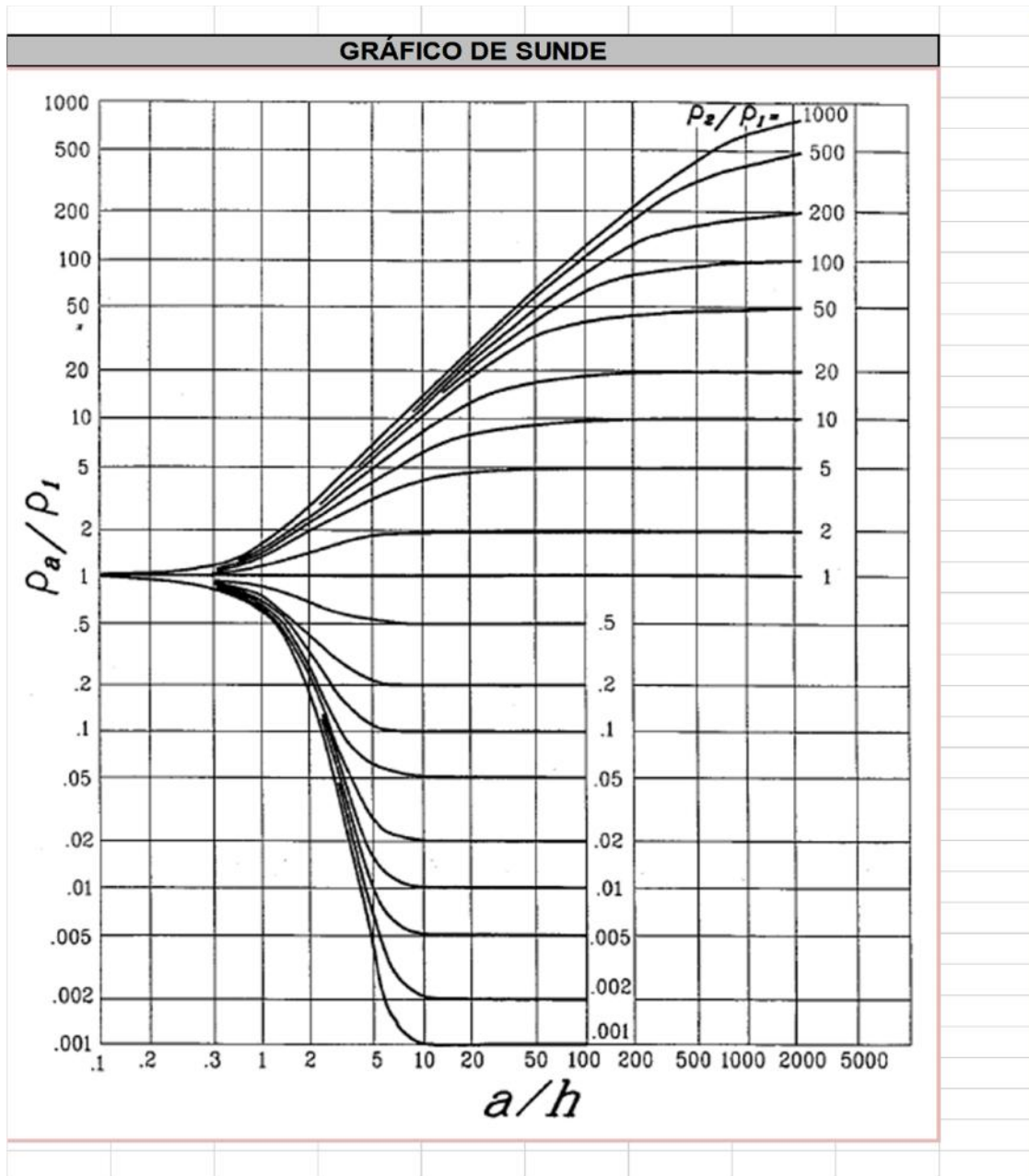


De acuerdo con las medidas de resistividad del terreno y su interpretación mediante la curva patrón, el terreno está conformado por dos capas, cuyas resistividades y espesores son las que indican a continuación:

1ª capa: $\rho_1 = 26.45$ (OHM-m) ; $E_1 = 19$ m
 2ª capa: $\rho_2 = 108.637$ (OHM-m) ; $E_2 =$ Profundidad restante



Ecuación polinomio obtenido:	$y=ax^3+bx^2+cx+d$					
Coefficientes:	a	b	c	d		
Valor:	0.0045	-0.3903	8.5927	8.3773		
Punto de inflexión:	28.911111					
Distancia entre electrodos:	28.911111	m				
Resistividad aparente:	39.313024	-m				
Distancia entre electrodos:	0	1	2	3	4	5
Resistividad capa superior 1:	8.3773	16.5842	24.0375	30.7642	36.7913	42.1458
Distancia entre electrodos:	59	60	61	62	63	64
Resistividad capa inferior 2:	80.9178	90.8593	101.6402	113.2875	125.8282	139.2893



Consideración para el diseño, la capa que muestra menor resistividad es la capa superficial 26.45 ohm.m por esto sería bueno utilizar esta capara para el diseño del sistema de puesta a tierra.

4.3. Diseño para un sistema de puesta a tierra estructural ¹⁹

Los cálculos del Sistema de puesta a tierra estructural están basados en la Norma IEEE-Std-80-2000. Se considera que el tiempo de operación de los dispositivos de protección es aproximadamente 0,2 segundos, período en el cual la corriente de falla circula hacia el Sistema de puesta a tierra. Con el tiempo de falla establecido se seleccionó el factor de decremento de la tabla A.1 ($F_d = 1,125$).

El factor de crecimiento de la instalación se consideró del 50% ($F_c = 1,5$).

Duración de falla t_f		Factor de decremento D_f			
Segundos	Ciclos A 60 Hz	X/R = 10	X/R = 20	X/R = 30	X/R = 40
0,00833	0,5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

Tabla A.1. Valores típicos factor de decremento, F_d

A continuación, se muestra las Dimensiones de la estructura del pabellón I, consideradas para el sistema de puesta a tierra estructural planteado para el laboratorio y el electrodo especial de tres terminales o picas, entonces el área total considerada sería 481.5 m²,

¹⁹ Sistema de tierra para plantas y subestaciones eléctricas, Roberto Ruelas [consultado enero 2013]. Tabla traducida de IEEE-Std-80-2000

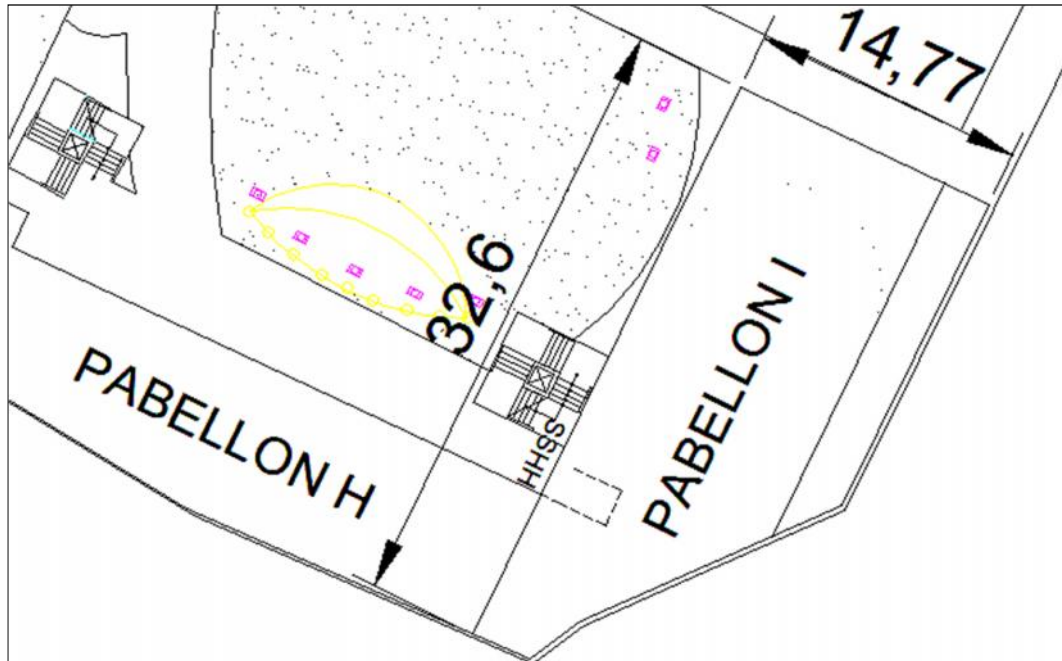


Fig. 4.3 .- Dimensiones de la estructura del pabellón I

Memoria de cálculo SISTEMA DE PUESTA A TIERRA estructural

Consideraciones generales			
Acometida eléctrica:	Trifásica Estrella con neutro (viene desde la SED)		
Carga eléctrica	20 KVA		
Consumo por Fase	40 Amp, V =380V		
Tiempo de Falla, ts	12 ciclos (0.2s)	ts	0,44721 segundos
Características del sistema			Resultado Un.
Z% Transformador (10%)	1961		0
$I_{cc} = ((V/ \sqrt{3})/Z_{cc}\%)$			2,1967.86 Amp
, resistividad promedio			26.45 Ohm- metro

DISEÑO INICIAL DE LA PUESTA A TIERRA

1.-Diseño Rectangular:

Longitud del lado de la malla Lx:	32.6	m
Longitud del lado de la malla Ly:	14.77	m
Área total A:	481.502	m ²
Número de conductores en x:	3	
Espacio entre conductores Dy:	7.385	m
Número de conductores en y:	3	
Espacio entre conductores Dx:	16.3	m
Espacio medio entre conductores D:	11.8425	m
Perímetro Lp:	94.74	m
Longitud total conductores Lc:	142.11	m
Distancia máxima entre dos puntos Dm:	35.78984	m
Factor geométrico na:	3	
Factor geométrico nb:	1.038932	
Factor geométrico nc:	1	
Factor geométrico nd:	1	
Factor geométrico n:	3.116796	
Factor corrección geométrico Ki:	1.105286	
Número de picas nR:	3	
Longitud pica Lr:	1.5	m
Longitud picas total LR:	4.5	m
Longitud total efectiva LM:	149.3151	m
Diámetro pica 2b:	0.0173	m

CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO ADMISIBLE

1.-Cálculo según IEEE 80-2000

Peso de la persona:	70	kg
Resistividad capa superficial s:	26.45	·m
Resistividad del terreno :	26.45	·m
Profundidad de la capa superficial hs:	0.2	m
Factor reductor de la capacidad normal Cs:	1	
Tiempo de descarga ts:	0.2	s
Corriente de descarga máxima admisible (Dalziel's):	351.06267	mA
Corriente de descarga máxima admisible (Curva Z):	500	mA
Corriente de descarga máxima admisible:	351.06267	mA
Tensión metal-metal E _{mm} :	351.06267	V
Tensión de contacto admisible:	364.99108	V
Tensión de paso admisible:	406.77632	V

CALCULO DE LA SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR

El IEEE Std. 80-1976, Guide for Safety in Substation Grounding, la norma aceptada por la industria eléctrica, usa la ecuación de Onderdonk como base para seleccionar el mínimo tamaño del conductor que se funda bajo condiciones de falla.

Para conductores de cobre esta ecuación es:

$$S_{\text{MIN}} = \frac{I_F}{1973 \times \sqrt{\frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{1083 - T_A}{234 + T_A} + 1 \right)}{33 \times T_{op}}}}$$

Esta ecuación se transforma en la siguiente expresión, la que se evalúa dependiendo del tipo de unión a utilizar para la construcción de la malla, la que permite determinar la sección mínima que debería tener el conductor:

$$S_{\text{min}} = \frac{K \times I_F \times \sqrt{T_{op}}}{1973}$$

Donde:

I_F : Corriente de falla a tierra monofásica. (A)

T_{op} : Tiempo de despeje de la falla (seg.)

T_A : Temperatura máxima admisible (450°C)

K : Factor de conexión (9.12)

CÁLCULO DE LA SECCIÓN CONDUCTOR

1.-Datos Generales

Descripción cable :	100 Copper, annealed soft-drawn
Temperatura ambiente :	25 °C
Intensidad de corto circuito (valor eficaz):	2.196 kA
Tiempo de la falta:	0.2 s
Conductividad del material:	100 %
Coefficiente de resistividad térmico a 20°C:	0.00393 °C ⁻¹
K ₀ :	234 °C
Temperatura de fusión:	1083 °C
Resistividad r a 20°C	1.72 μ ·cm
Capacidad térmica TCAP:	3.42 J/(cm ³ ·°C)
Sección mínima:	3.423707 mm ²
Sección mínima normalizada:	10 mm²

2.- DC Offset de la Corriente

Considerar:	No
Frecuencia de red:	60 Hz
Tiempo de falta:	0.2 s
Relación X / R:	5
Constante tiempo del DC offset T _a	0.013263 s
Factor de reducción D _f :	1.032625
Intensidad corriente asimétrica:	2.267645 kA
Sección mínima:	3.535406 mm ²
Sección mínima normalizada:	10 mm²



CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA

METODO DE SCHWARZ

Para el cálculo de la resistencia de la malla de tierra, aplicando el método de Schwarz, se establece que la resistencia de una malla está dada por las siguientes expresiones:

$$R_M = \frac{\rho_e}{\pi \times L} \times \left[\text{Ln} \left(\frac{2 \times L}{\sqrt{h \times d}} \right) + \frac{K_1 \times L}{\sqrt{S}} - K_2 \right] [\Omega]$$

$$K_1 = 1,43 - \frac{2,3 \times h}{\sqrt{S}} - 0,044 \times \left[\frac{A}{B} \right]$$

$$K_2 = 5,5 - \frac{8 \times h}{\sqrt{S}} + 0,15 - \frac{h}{\sqrt{S}} \times \left[\frac{A}{B} \right]$$

Donde :

- ρ_e Resistividad equivalente del terreno ($\Omega - m$).
- L Largo total del conductor de la malla (m)
- h Profundidad de enterramiento de la malla (m)
- S Area total de la malla (m^2)
- A Lado mayor del reticulado (m)
- B Lado menor del reticulado (m)

Los cálculos se muestran a continuación:

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

1.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra Conductores Enterrados

Resistividad del terreno:	26.45	·m
Diseño inicial Puesta a Tierra:	2	Rectangular
Longitud total de los conductores Lc:	142.11	m
Profundidad de enterrado conductor h:	1	m
Diámetro del conductor d:	0.010998	m
Radio efectivo conductor a':	0.105	m
Área total del mallado A:	481.502	m ²
1) Curvas de Schwarz		
Tipo de Curva:	1	CURVA A
Coefficiente k ₁ :	1.321712932	
Coefficiente k ₂ :	5.831076506	
2) Kerckel		
Coefficiente Kerckel k ₁ :	1.317412053	
Coefficiente Kerckel k ₂ :	7.447625412	
Método de cálculo:	Schwarz	
k ₁ :	1.321712932	
k ₂ :	5.831076506	
Resistencia PAT conductor R ₁ :	0.629979475	

2.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra tipo estructural

Resistividad del terreno:	26.45	·m
Diseño inicial Puesta a Tierra:	2	Rectangular
Longitud de cada pica L _r :	1.5	m
Diámetro pica 2b:	0.0173	m
Número de picas n _R :	3	
Longitud total picas L _R :	4.5	m
Resistencia PAT picas R ₂ :	194.619509	

3.- Cálculo Resistencia Mutua Puesta a Tierra

Resistencia PAT mutua R _m :	0.531604102
--	-------------

4.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra

Resistencia PAT R _g :	0.62993
----------------------------------	---------

CALCULO DE LA TENSION DE MALLA Y DE PASO

1.-Datos Generales

Resistividad del terreno :	26.45	·m
Diseño inicial puesta a tierra:	2	Rectangular
Distancia entre conductores D:	11.84	m
Diámetro del conductor d:	0.010998	m
Profundidad cable enterrado h:	1.000	m
Factor geométrico n:	3.11679634	
Tipo de mallado:	3	Picas en las esquinas
Factor Kii:	1.000	
Factor Kh:	1.414	
Factor Km:	1.012	
Factor geométrico Ki:	1.10528586	
Factor geométrico Ks:	0.198	
Corriente de falla I _G :	1768.13136	A
Longitud total efectiva L _M :	149.32	m
Longitud total conductores L _c :	142.11	m
Longitud picas total L _R :	4.50	m
Longitud efectiva L _S	110.41	m
Tensión de malla E_m:	350.18	V
Tensión de paso E_S:	92.90	V

Según los resultados obtenidos y comparados, el sistema de puesta a tierra estructural cumple las condiciones de seguridad especificados por la norma y por el requerimiento de los equipos eléctricos a instalar ya que resulto 0.6299 ohmios. Y además se cumple con los valores de toque y de paso.

4.4. Selección de componentes

Los componentes de este tipo de sistemas de puesta a tierra constan de lo siguiente:

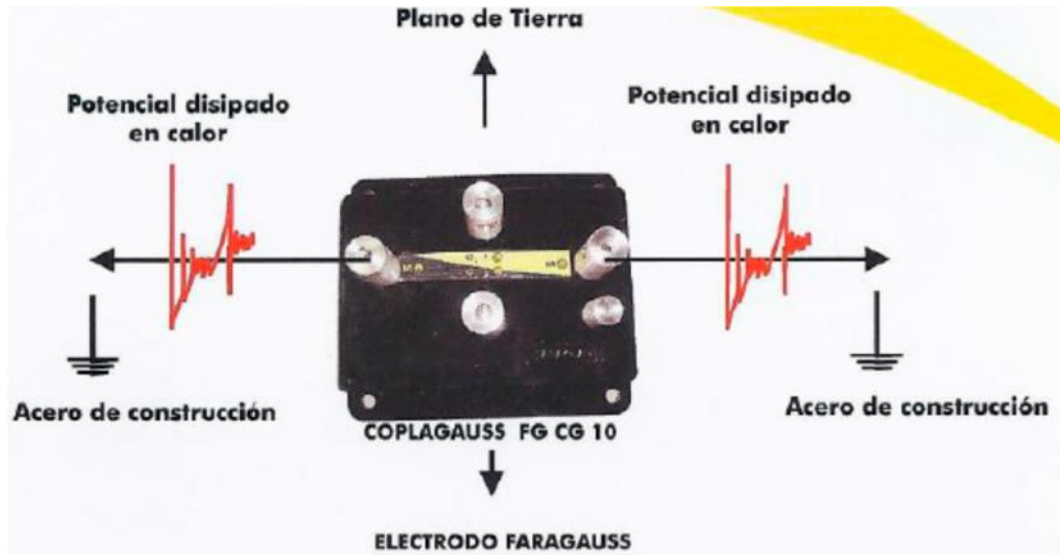
Electrodo magnetoactivo (estructura triangular), cuenta con tres puntas de cobre macizo que mejora la disipación en terreno, drenando a nivel de subsuelo la falla soportada. Sus propiedades metálicas y tratamiento electroquímico resisten a la corrosión y a la sulfatación, ofreciendo una superficie de contacto de muy baja y no contaminante. ya se definió sus

propiedades en los capítulos anteriores, el seleccionado es: el electrodo magneto activo Faragauss, modelo FG 1200LP, cuyas dimensiones son 1.00 x 0.5m.

Se le considera magneto activo ya que tiene acoplado al electrodo una bobina de choque, que en conjunto con el electrodo proporciona una impedancia LCR, que opera a altas frecuencias de hasta 3,5 Ghz deprimiendo impulsos indeseables, interferencia electromagnética y de radiofrecuencia.

Corriente Nominal	300 Amp. AC
Corriente Máxima	3950 Amp. AC
Icc máx	20 KA
Tiempo Nominal de Operación	1 500 ms
Temperatura de Operación	-20 °C a 1 000 °C
Peso con Embalaje	5,0 Kg
Cantidad de Compuesto	25,0 Kg
Dimensiones	Largo=1,0 m, Diametrp=0.5 m
Dimensiones cuerpo electrodo	Placas de 2,5 mm de espesor Tubos de 22 mm de diámetro Tubos de 1,1 mm de espesor
Aplicación	Circuitos lógicos de baja tensión Tierra física Instalaciones domiciliarias, Masas

Sincronizador o Acoplador.- Es un dispositivo que interconecta el conductor del electrodo de puesta a tierra a sus conductores laterales para disipar las corrientes de fallas, el modelo seleccionado es el Coplagauss FG CG03.



ACONDICIONADOR (COMPUESTO QUÍMICO PARA AÑADIR A TIERRA)

Color	Gris oscuro
Resistividad Eléctrica	$3 \times 10^{-5} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$
Conductividad térmica	19,6 W/cm.K
Fuerza de compresión	410 kg/cm ²
Peso específico	2,8 gr/m ³
Presentación	Saco de 12,5 y 25 Kg
Peso con Embalaje	12,7 y 25,2 Kg

4.5. Especificaciones de montaje

4.5.1. Revisión del sistema

Al adquirir el sistema se deberá de verificar que ni el filtro ni el acondicionador presenten daño alguno. En caso de que el producto se encuentre dañado, éste deberá regresar a su distribuidor autorizado para ser reemplazado presentando la factura del producto.

4.5.2. Almacenamiento

En caso de no instalar el sistema al momento de la recepción del mismo, éste deberá ser almacenado en un área cubierta, libre de polvo y agua. Se recomienda que el sistema se almacene a un nivel superior al del piso del área, debido a que materiales como aceites, ácidos, etc. pueden dañar o deteriorar el equipo, Mantenga estas sustancias lejos del

equipo, así como material inflamable o Explosivo que puedan dañar total o parcialmente el sistema de tierra.

4.5.3. Ubicación del electrodo.

El electrodo de puesta a tierra debe instalarse en un sitio accesible para mediciones periódicas programadas y lo más cercano posible al equipo a proteger y a las masas, de preferencia en la misma área. Recordemos que en donde estemos existe tierra por debajo de lo que estamos pisando y no así una tierra sobrepuesta.



Fig. 4.4 .- Muestra ubicación del pozo

4.5.4. Preparación del suelo.

El objetivo del sistema es la disipación eficiente de corrientes en el suelo por lo que el relleno de la fosa es un procedimiento importante. Se recomienda seguir este procedimiento a detalle.

Construcción del foso.

Las dimensiones del foso a construir deben ser acordes al modelo que se va a instalar. Estas dimensiones se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.2 Características y dimensiones de los electrodos

Electrodo tipo estructural	DIMENSIONES
ELECTRODO FG 1200LP	50x50x100 cm.
FOSO A EXCAVAR	100x100x150cm

Fuente: Elaboración propia

Si se tuviera suelos con un nivel agua muy elevada, como es en diferentes zonas del país por lo cual, si en alguna ocasión existe el inconveniente de fosas inundadas, entonces será necesario drenar rápidamente el agua y de inmediato continuar con el procedimiento.

Material de relleno.

Una vez visto el foso, retire del material excavando todo lo que tenga un tamaño mayor a 2 cm. como piedras, basura, etc. Posteriormente use este material para el relleno del foso. También se puede utilizar tierra negra u orgánica para este fin o la misma tierra extraída pero cernida.



Fig. 4.5 .- Cernido del sistema de puesta a tierra

Con el fin de lograr la mejor puesta a tierra con una resistencia baja y permanente, en la instalación de los sistemas de tierra tipo estructural se debe utilizar acondicionador sales químicas.

La cantidad de sacos a utilizar según el modelo del electrodo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Características del acondicionador

Electrodo tipo estructural	Cantidad de Acondicionador:
ACONDIONADOR	2 sacos de 25 Kilos

Fuente : elaboración propia

Características del Acondicionador

Color:	Gris oscuro
Resistividad eléctrica:	3×10^{-5} - m
Conductividad térmica:	19,6 W/cm.K
Fuerza de compresión:	410 kg/cm ² 3
Peso específico:	2,8 gr/m
Presentación:	Saco de 25 Kg
Peso con Embalaje:	4,9 Kg.

Instalación del electrodo en el foso y conexión a masas.

Vaciado del material de relleno.

PASO 1

Coloque el molde de cartón o plástico en el fondo de la fosa y rellene por afuera con tierra hasta una altura de 20 cm. Sobre el cilindro de cartón o plástico.



Fig. 4.6 .- Vaciado del material de relleno

PASO 2

Mezcle el acondicionador con 23 litros de agua, introduzca en cantidades pequeñas el acondicionador hacia el recipiente donde se está preparando la mezcla sin dejar de batir constantemente hasta acabar el acondicionador esto dura unos 10 a 15 minutos de preferencia que no esté muy espeso.



Fig. 4.7 .- Mezcla del aditivo

PASO 3

Vacíe la mezcla obtenida hasta 30 cm en el molde de cartón o plástico.



Fig. 4.8 .- Vaciado del aditivo

PASO 4

Coloque la Tapa y rellene con la tierra cernida, tierra negra o de jardín la misma cantidad que de la mezcla y saque hacia afuera una cuarta parte el molde.



Fig. 4.8 .- Colocación de tierra preparada

PASO 5

Vuelva a vaciar la mezcla obtenida en las otras dos cuartas partes en el molde y vuelva a rellenar con tierra siempre apisonando (compactar), realizar este procedimiento hasta acabar la mezcla y el molde tiene que estar enterrado como máximo unos 20 cms, este procedimiento hay que realizarlo en unos 15 minutos como máximo, ya que la mezcla endurecerá o fraguará rápido.

PASO 6

Introducir el electrodo dentro el molde dando vueltas hasta que quede dentro del cartón y solo quede la base del filtro por fuera, recuerde el molde ya tiene que estar casi fuera.



Fig. 4.9 .- Introducción del electrodo estructural

PASO 7

Posteriormente retire el molde, este proceso desde la introducción de la mezcla no tiene que demorar más de 15 a 20 minutos y al final la instalación del electrodo en el terreno tiene que quedar de esta forma.



Fig. 4.9 .- Electrodo estructural

PASO 8

Después de enterrar el electrodo el siguiente paso es hacer la conexión a las Masas que es muy importante a la barra de tierra principal.

Descripción de Masa o estructura.

Sujeción de cable que va desde el filtro del electrodo hasta la masa o estructura, importante tomar nota, lijar el fierro de la masa para hacer buen contacto con el cable, la unión del cable de cobre hacia la estructura se lo realiza con perno partido como se muestra en la figura.



Fig. 4.10 .- Tipo de Cable para Conexión a Masas

Electrodo estructural	Cable AWG
GND-	No 4 AWG o 16 mm ²



Fig. 4.11 .- Sujecion a las barras estructurales

Sujeción de cable que va desde el filtro del electrodo hasta el acoplador, que conectara la tierra estructural con las masas presentes, como se muestra en la figura. El modelo seleccionado es el Coplagauss FG CG03.



Fig. 4.12 .- Acoplador coplagauss FG CG03



Fig. 4.13 .- Acoplador del Laboratorio de Mediciones - Microscopio electrónico de barrido



Fig. 4.14 .- Estructuras del Laboratorio de Mediciones - Microscopio electrónico de barrido

Recomendaciones de montaje

Para compactar el material de relleno, se recomienda utilizar un pisón con superficie de impacto preferentemente de madera.

Luego de instalado el electrodo en unos 20 minutos de fraguado se procederá a las instalaciones de masas y conexión a su tablero, pero se debe esperar 24 horas como máximo para el total fraguado del compuesto acondicionador, este tiempo se puede reducir si electrodo está rodeado de tierra de chacra, ya que ésta absorberá con mayor rapidez la humedad. Su secado final hace del electrodo una estructura bastante gruesa y pesada (aproximadamente 50 kilos) dificultando en gran escala los actos vandálicos, no sólo por el peso sino por la gran adherencia al suelo haciendo casi imposible arrancarlo.

Adicionalmente, como éste es un sistema libre de mantenimiento, luego de hacer las mediciones respectivas se puede sellar el pozo, pero recomendamos el uso de caja de registro de concreto utilizar el mismo concreto para llevar a cabo dicho sellado. En el caso de cajas metálicas pueden usarse soldaduras para el sellado.

Debido a que por medio de los cables de conexión se obtiene la interface de la carga con la tierra, Es importante que se tomen en cuenta aspectos como el aislamiento de los conductores dependiendo al caso de instalación en algunos casos utilice cable desnudo.



Fig. 4.15 .- Acabado de la Instalación- Laboratorio de Mediciones - Microscopio electrónico de barrido

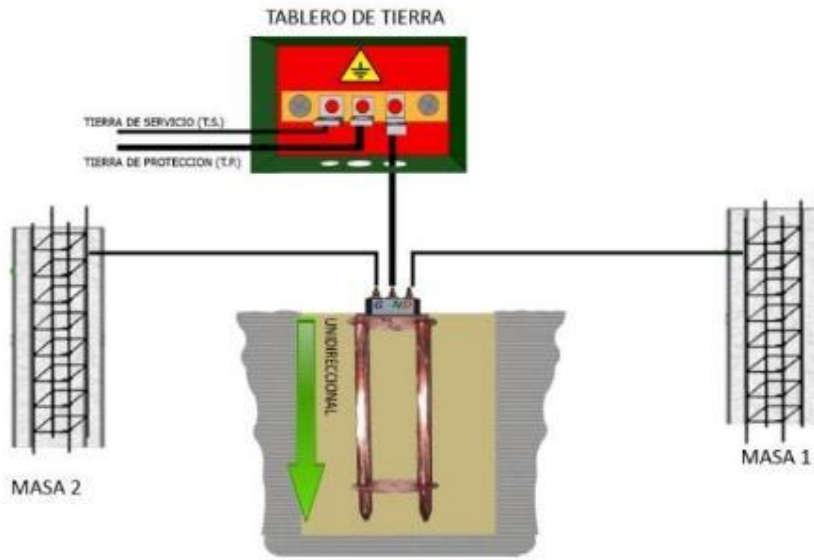


Fig. 4.16 .- Comprobación del sistema de puesta a tierra estructural

Medición.

Debido a que el sistema de tierras estructural debe proveer una resistencia a la carga menor o igual a 5 Ohms, es importante medir esta resistencia comprobando su correcto funcionamiento. Los métodos por los cuales se mide la resistencia son: Método del 62% o de las 3 picas.

Para efectuar las mediciones de resistividad del terreno utilizando este método es necesario contar con los siguientes materiales:

- Un telurómetro o Megger de tres terminales.
- Dos picas metálicas de aproximadamente 30cm. de longitud.
- Dos cables aislados para conectar las picas al telurómetro.



Fig. 4.17 .- Medición del pozo a tierra estructural del Laboratorio de Mediciones -
Microscopio electrónico de barrido

Como se puede verificar en la figura anterior el diseño del sistema de puesta a tierra estructural cumple con los requisitos mínimos requeridos para el funcionamiento de los equipos del laboratorio.

RECOMENDACIONES PARA LA MEDICIÓN DE ELECTRODOS MAGNETO ACTIVOS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Para la medición de un electrodo magneto activo **GND** debe estar conectado a las masas, ya que el conjunto de electrodo masa (estructuras metálicas o fierro enterrado en concreto) es el que nos brindará la baja impedancia y la permanencia en el tiempo. No tendría sentido hacer una medición sin tener las masas conectadas.

El mantenimiento preventivo para este tipo de sistemas estructurales, consiste básicamente en una inspección visual anual con un costo mínimo, que incluye mediciones de resistencia, limpieza de registros y entrega de protocolo al operador propietario.

Esta es la principal ventaja del sistema de puesta a tierra estructural. A pesar de los resultados anteriores, el sistema de puesta a tierra estructural puede ser una opción viable para aquellos sitios de difícil acceso donde el costo por mantenimiento preventivo, sea un monto anual considerablemente alto.

CONCLUSIONES

PRIMERA

El sistema convencional, presenta menor tiempo de ejecución así como menor inversión inicial. Su principal desventaja es el mantenimiento preventivo que puede ser un aspecto muy crítico para sitios de difícil acceso, teniendo que realizar mantenimientos cada seis meses, cada año como mínimo para que permanezca cumpliendo el valor de ohmiaje requerido.

SEGUNDA

Se analizaron las principales características del sistema de puesta a tierra del Tipo Estructural, tanto los componentes del sistema como los criterios y procedimientos de cálculos, así como el sistema de montaje. El sistema estructural tiene la ventaja de requerir de un mínimo mantenimiento anual. Sus desventajas son el mayor tiempo de ejecución y una alta inversión inicial.

TERCERA

Se calculó el valor de la resistencia final considerando para el cálculo la estructura del pabellón I donde está el laboratorio (32.6m x 14.77m) y el electrodo estructural, es decir que se conectó a la estructura metálica del pabellón por medio de grapas especiales, aprovechando que se hizo un reforzamiento estructural al laboratorio, por lo que las estructuras del pabellón fueron incluidas en el cálculo, dicho valor calculado fue de 0.6299 ohmios, además se comprobó dicho valor con las mediciones respectivas al sistema de puesta a tierra de nueva Generación Tipo Estructural, el valor medido también se muestra en dicho capítulo y se ha obtenido un valor de 0.29 ohmios que se muestra. Es importante mencionar que el electrodo magneto activo es un arrollamiento de cables sobre un cilindro, en cada espira produce un campo magnético y al estar unida directamente al electrodo hace el efecto de una impedancia que ofrece una baja resistencia en fallas normales y reduce las sobretensiones conducidas, además disminuye la tasa de cambio de las corrientes para reducir la conversión en modo común equipos sensibles, mantiene la equipotencialidad del SPT en condiciones de funcionamiento normal.

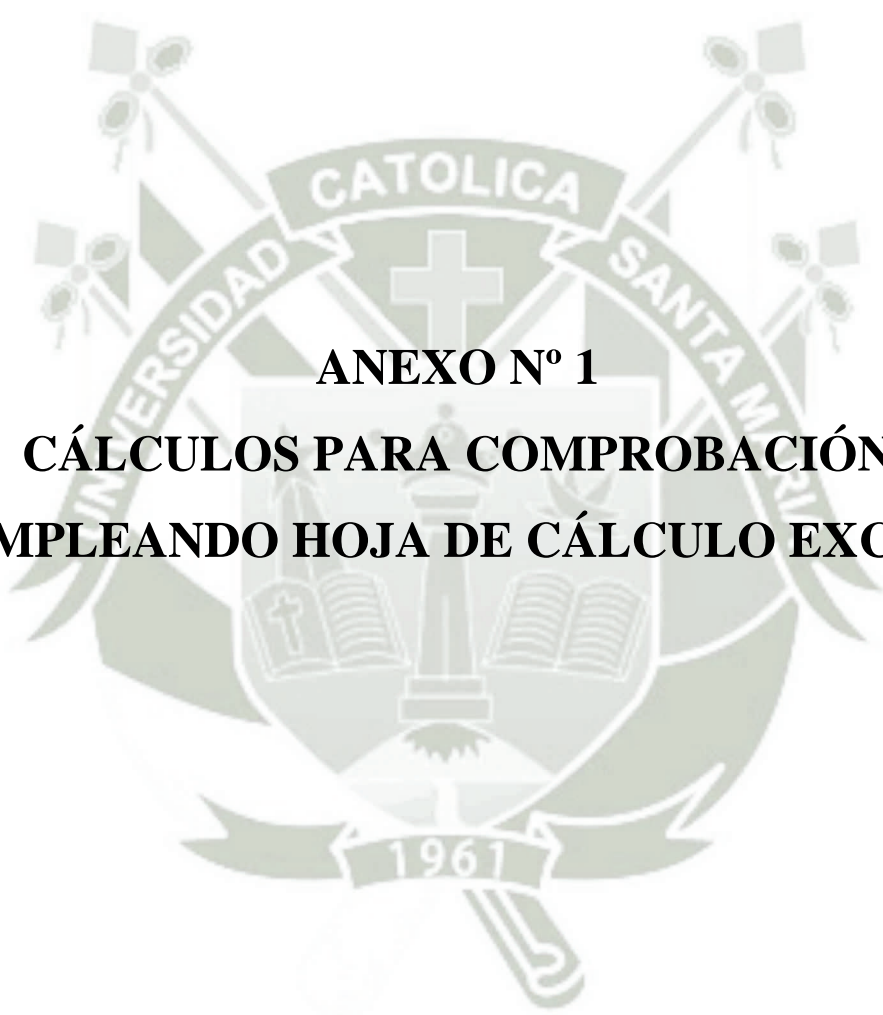
RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una medición integral a todos los sistemas de puesta a tierra del campus universitario (ya que cada pabellón tiene su propio sistema de aterramiento, no está conectado entre sí), y con esta evaluación plantear un sistema de puesta a tierra tipo estructural para disminuir el valor que tienen actualmente.
2. Se recomienda realizar estudios similares para todos los locales de la Universidad, ya que cuenta con varias clínicas, laboratorios, museos, etc. Que son de gran afluencia pública, y tiene equipos muy costosos.
3. Para los sitios que presentan condiciones distintas a las indicadas, se deben analizar de forma particular tomando en consideración aspectos técnicos y económicos para determinar cuál sistema de tierra es la opción más viable, utilizando para ello una metodología como la mostrada.
4. Para todo sistema de puesta a tierra, mínimo una vez por año, se debe realizar una inspección visual, mediciones de resistencia para determinar si la red es funcional y segura. Caso contrario, se deben agregar los elementos necesarios para cumplir con la normativa, el mantenimiento debe de incluir desde sales minerales, tratamientos químicos, cementos conductivos y algunos casos nuevos sistemas de puesta a tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- Código nacional de electricidad utilización 2006, Perú
- DIAZ, Pablo. Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución. Castro, Felipe (rev. tec.). México, D.F.: McGraw-Hill, 2001.
- Faragauss Systems. Norma de instalación. Faragauss. Guadalajara, Jal: Faragauss, 2000.
- IEEE Emerald Book, Std 1100-1999. Prácticas recomendadas para la energización y puesta a tierra de equipo electrónico.
- IEEE Green Book, Std 142-1991. Prácticas recomendadas para la puesta a tierra de sistemas de potencia industrial y comercial.
- IEEE STD- 80. Guía de seguridad en puesta a tierra de SE de corriente alterna.
- RUELAS GÓMEZ, Roberto. Teoría y diseño de sistemas de tierras según las normas oficiales mexicanas (NOM) e IEEE
- Tierras. Soporte de la seguridad eléctrica – Ing. Favio Casas Ospina, editorial ICONTEC, 2010





ANEXO N° 1
CÁLCULOS PARA COMPROBACIÓN
EMPLEANDO HOJA DE CÁLCULO EXCEL

DATOS DE DISEÑO

1.-Datos (típicos) para el diseño de la Puesta a Tierra

Tiempo de falla t_s :	0.2	s
Tensión de red U_n	0.38	KV
Intensidad máxima de corriente de defecto a tierra I_f	2.196	KA
Split factor S_f :	0.80516	
Resistividad capa superficial ρ_s :	0.2	$\cdot m$
Profundidad de la capa superficial h_s :	0.2	m
Profundidad a la que están enterrados los conductores h	1	m
(*)Máxima longitud de la malla en la dirección x L_x		m
(*)Máxima longitud de la malla en la dirección y L_y		m
(*)Número de picas n_R		
Relación X/R	5	
Frecuencia de red	60	Hz

(*) Si no lo dan como dato de diseño, acudir a los planos



CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

1.- Modelo de resistividad uniforme

Valores medidos de resistividad:

Distancia entre electrodos:

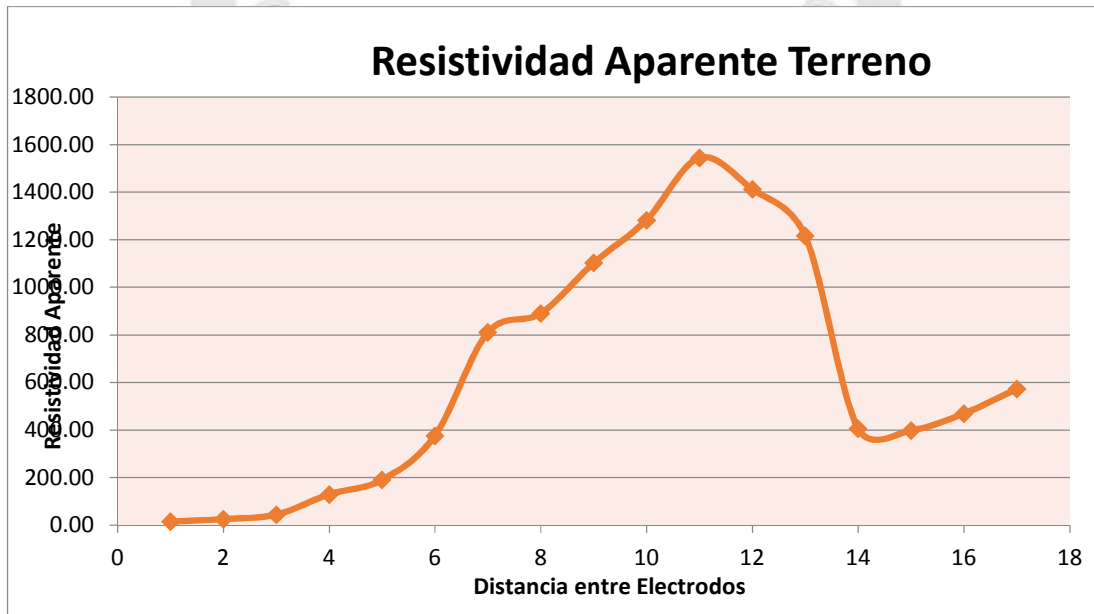
Número de medidas:

Resistividad aparente 1:

Resistividad aparente 2:

Resistividad aparente a:

17
640.51 ·m
779.885 ·m
779.885 ·m



2.- Modelo suelo de dos capas

Valores medidos de resistividad:

Distancia entre electrodos: insertar valores en Tabla 1

Resistividad aparente a:

Distancia entre electrodos para resistividad aparente a:

Resistividad capa superior 1:

Resistividad capa inferior 2:

Relación 2/ 1:

Relación a/ 1:

Relación a/h (Gráfico de Sunde):

Profundidad primera capa h (Gráfico de Sunde):

Coefficiente reflexión K:

39.31302 ·m
28.91111 m
26.45005 ·m
108.6371 ·m
4.107253
1.486312
1.5
19.27407 m
0.6084

Nota:

Si en el modelo de suelo de dos capas se obtiene un coeficiente de reflexión negativo, es recomendable utilizar el modelo de resistividad uniforme ya que es más desfavorable.

CÁLCULO DE LA SECCIÓN CONDUCTOR

1.-Datos Generales

Descripción cable :	100 Copper, annealed soft-drawn
Temperatura ambiente :	25 °C
Intensidad de corto circuito (valor eficaz):	2.196 kA
Tiempo de la falta:	0.2 s
Conductividad del material:	100 %
Coefficiente de resistividad térmico a 20°C:	0.00393 °C ⁻¹
K ₀ :	234 °C
Temperatura de fusión:	1083 °C
Resistividad r a 20°C	1.72 μ ·cm
Capacidad térmica TCAP:	3.42 J/(cm ³ °C)
Sección mínima:	3.423707 mm ²
Sección mínima normalizada:	10 mm²

2- DC Offset de la Corriente

Considerar:	No
Frecuencia de red:	60 Hz
Tiempo de falta:	0.2 s
Relación X/ R:	5
Constante tiempo del DC offset Ta	0.013263 s
Factor de reducción Df:	1.032625
Intensidad corriente asimétrica:	2.267645 kA
Sección mínima:	3.535406 mm ²
Sección mínima normalizada:	10 mm²

Nota:

Si el cable seleccionado es hard drawn copper y se requiere por razones mecánicas la resistencia de éste,

la temperatura de fusión deberá ser 250 °C

En ese caso:

Sección mínima:	5.521608 mm ²
Sección mínima normalizada:	10 mm ²



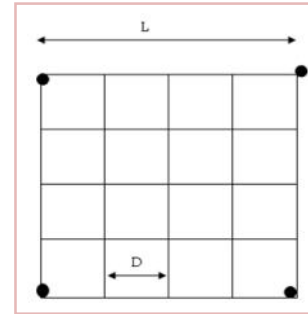
Descripción	Conductividad del Material (%)	Coefficiente de resistividad térmico α a 20°C (°C ⁻¹)	K_0 (°C)	Temperatura de fusión T_m (°C)	Resistividad r_a a 20°C ($\mu \cdot \text{cm}$)	Capacidad Térmica TCAP [J/(cm ³ ·°C)]
100 Copper, annealed soft-drawn	100	0.00393	234	1083	1.72	3.42
101 Copper, commercial hard-drawn	97	0.00381	242	1084	1.78	3.42
102 Copper-clad steel wire	40	0.00378	245	1084	4.4	3.85
103 Copper-clad steel rod	20	0.00378	245	1084	8.62	3.85
104 Aluminum, EC grade	61	0.00403	228	657	2.86	2.56
105 Aluminum, 5005 alloy	53.5	0.00353	263	652	3.22	2.6
106 Aluminum, 6201 alloy	52.5	0.00347	268	654	3.28	2.6
107 Aluminum-clad steel wire	20.3	0.0036	258	657	8.48	3.58
108 Steel, 1020	10.8	0.0016	605	1510	15.9	3.28
109 Stainless-clad steel rod	9.8	0.0016	605	1400	17.5	4.44
110 Zinc-coated steel rod	8.6	0.0032	293	419	20.1	3.93
111 Stainless steel, 304	2.4	0.0013	749	1400	72	4.03

Despreciar corriente asimétrica	Frecuencia
Si	50
No	60

DISEÑO INICIAL DE LA PUESTA A TIERRA

1.-Diseño Cuadrado

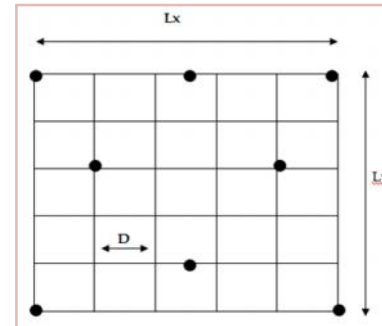
Longitud del lado de la malla L:	<input type="text" value="70"/>	m
Área total A:	4900	m ²
Número de conductores:	<input type="text" value="24"/>	m
Espacio entre conductores D:	6.3636	m
Perímetro Lp:	280	m
Longitud total conductores Lc:	1680	m
Distancia máxima entre dos puntos Dm:	98.9949	m
Factor geométrico na:	12	
Factor geométrico nb:	1	
Factor geométrico nc:	1	
Factor geométrico nd:	1	
Factor geométrico n:	12	
Factor corrección geométrico Ki:	2.4200	
Número de picas n _R :	0	
Longitud pica L _r :	<input type="text" value="0"/>	m
Longitud picas total L _R :	0	m
Longitud total efectiva L _M :	1680.0000	m
Diámetro pica 2b:	<input type="text" value="0"/>	m



DISEÑO INICIAL DE LA PUESTA A TIERRA

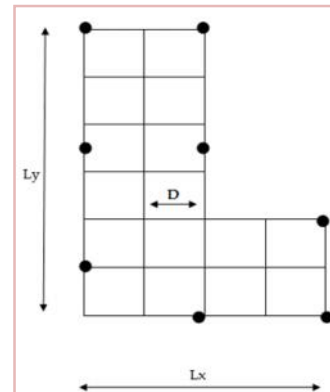
1.-Diseño Rectangular

Longitud del lado de la malla Lx:	<input type="text" value="32.6"/>	m
Longitud del lado de la malla Ly:	<input type="text" value="14.77"/>	m
Área total A:	481.502	m ²
Número de conductores en x:	<input type="text" value="3"/>	
Espacio entre conductores Dy:	7.385	m
Número de conductores en y:	<input type="text" value="3"/>	
Espacio entre conductores Dx:	16.3	m
Espacio medio entre conductores D:	11.8425	m
Perímetro Lp:	94.74	m
Longitud total conductores Lc:	142.11	m
Distancia máxima entre dos puntos Dm:	35.789844	m
Factor geométrico na:	3	
Factor geométrico nb:	1.0389321	
Factor geométrico nc:	1	
Factor geométrico nd:	1	
Factor geométrico n:	3.1167963	
Factor corrección geométrico Ki:	1.1052859	
Número de picas n _R :	<input type="text" value="3"/>	
Longitud pica L _r :	<input type="text" value="1.5"/>	m
Longitud picas total L _R :	4.5	m
Longitud total efectiva L _M :	149.31509	m
Diámetro pica 2b:	<input type="text" value="0.0173"/>	m



3.-Diseño en L:

Longitud del lado de la malla Lx:	<input type="text" value="47"/>	m
Longitud del lado de la malla Ly:	<input type="text" value="15"/>	m
Área total A:	470	m ²
Número de conductores en x:	<input type="text" value="16"/>	
Espacio entre conductores Dy:	1	m
Número de conductores en y:	<input type="text" value="11"/>	
Espacio entre conductores Dx:	4.7	m
Espacio medio entre conductores D:	2.85	m
Perímetro Lp:	124	m
Longitud total conductores Lc:	632	m
Distancia máxima entre dos puntos Dm:	49.335586	m
Factor geométrico na:	10.193548	
Factor geométrico nb:	1.195794	
Factor geométrico nc:	1.2083032	
Factor geométrico nd:	1	
Factor geométrico n:	14.728472	
Factor corrección geométrico Ki:	2.8238138	
Número de picas n _R :	0	
Longitud pica L _r :	<input type="text" value="3"/>	m
Longitud picas total L _R :	0	m
Longitud total efectiva L _M :	632	m
Diámetro de la pica 2b:	<input type="text" value="0.0143"/>	m



PICAS				
TIPO	ALMA	REVESTIMIENTO	LONGITUD Lr (m)	DIÁMETRO 2b (m)
1	ACERO	COBRE 0,3 mm	1.5	0.0146
2	ACERO	COBRE 0,3 mm	2	0.0146
3	ACERO	COBRE 0,3 mm	2.5	0.0146
4	ACERO	COBRE 0,3 mm	3	0.0146
5	ACERO	COBRE 0,3 mm	1.5	0.0183
6	ACERO	COBRE 0,3 mm	2	0.0183
7	ACERO	COBRE 0,3 mm	2.5	0.0183
8	ACERO	COBRE 0,3 mm	3	0.0183
9	ACERO	COBRE 0,25 mm	1.5	0.0143
10	ACERO	COBRE 0,25 mm	2	0.0143
11	ACERO	COBRE 0,25 mm	2.5	0.0143
12	ACERO	COBRE 0,25 mm	3	0.0143
13	ACERO	COBRE 0,25 mm	1.5	0.0173
14	ACERO	COBRE 0,25 mm	2	0.0173
15	ACERO	COBRE 0,25 mm	2.5	0.0173
16	ACERO	COBRE 0,25 mm	3	0.0173
17	ACERO	COBRE 0,15 mm	1.5	0.0143
18	ACERO	COBRE 0,15 mm	2	0.0143
19	ACERO	COBRE 0,15 mm	2.5	0.0143
20	ACERO	COBRE 0,15 mm	3	0.0143
21	ACERO	COBRE 0,10 mm	1.5	0.0142
22	ACERO	COBRE 0,10 mm	2	0.0142
23	ACERO	COBRE 0,10 mm	1.5	0.018
24	ACERO	COBRE 0,10 mm	2	0.018

CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO ADMISIBLE

1.-Cálculo según IEEE 80-2000

Peso de la persona:	70	kg
Resistividad capa superficial ρ_s :	26.45	$\cdot m$
Resistividad del terreno ρ_t :	26.45	$\cdot m$
Profundidad de la capa superficial h_s :	0.2	m
Factor reductor de la capacidad normal C_s :	1	
Tiempo de descarga t_s :	0.2	s
Corriente de descarga máxima admisible (Dalziel's):	351.06267	mA
Corriente de descarga máxima admisible (Curva Z):	500	mA
Corriente de descarga máxima admisible:	351.06267	mA
Tensión metal-metal E_{mm} :	351.06267	V
Tensión de contacto admisible:	364.99108	V
Tensión de paso admisible:	406.77632	V

2- Cálculo según MIE-RAT 13

Tensión de contacto: **374.283 V**

Nota:

Si el tiempo de falta está entre 3-5 segundos, la tensión máxima de contacto será de 64V

Si el tiempo de falta es superior a 5 segundos, la tensión de contacto no será superior a 50 V

Tensión de paso: **4171.32 V**

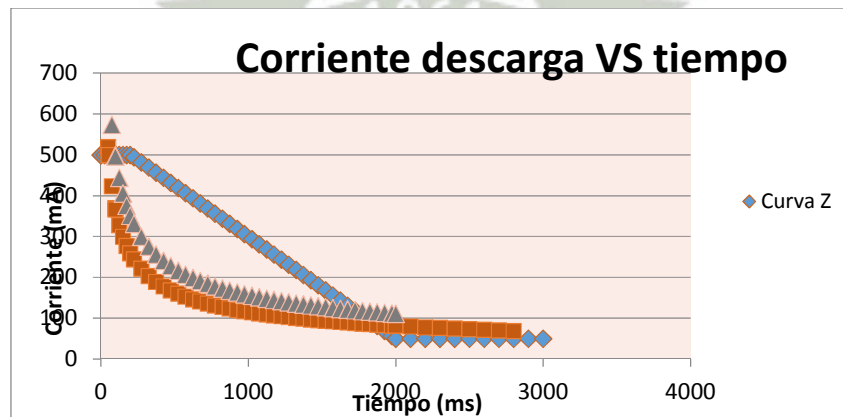
3.- Elección Normativa

Norma a aplicar:

IEEE 80-2000

Tensión de contacto admisible E_{touch} : **364.99108 V**

Tensión de paso admisible E_{step} : **406.77632 V**



Peso de la persona (kg)	Corriente de descarga (Dalziel's) (mA)	Tiempo descarga (ms)	Corriente descarga Dalziel's 50 kg (mA)	Corriente descarga Dalziel's 70 kg (mA)	Corriente de descarga (curva Z) (mA)
50	259.38389	0.01	36682.42086	49647.75926	500
70	351.06267	0.5	5187.67771	7021.25345	500
		1	3668.24209	4964.77593	500
		25	733.64842	992.95519	500
		50	518.76777	702.12534	500
		53.824	500.00000	676.72414	500
		75	423.57211	573.28294	500
		98.596	369.42675	500.00000	500
		100	366.82421	496.47759	500
		125	328.09755	444.06306	500
		150	299.51071	405.37226	500
		175	277.29304	375.30178	500
		200	259.38389	351.06267	500
		225	244.54947	330.98506	493.75
		275	221.20332	299.38725	481.25
		325	203.47746	275.39622	468.75
		375	189.42721	256.37993	456.25
		425	177.93588	240.82701	443.75
		475	168.31049	227.79954	431.25
		525	160.09521	216.68059	418.75
		575	152.97627	207.04547	406.25
		625	146.72968	198.59104	393.75
		675	141.19070	191.09431	381.25
		725	136.23509	184.38715	368.75
		775	131.76715	178.34002	356.25
		825	127.71180	172.85131	343.75
		875	124.00922	167.84006	331.25
		925	120.61106	163.24083	318.75
		975	117.47777	159.00008	306.25
		1025	114.57663	155.07355	293.75
		1075	111.88033	151.42425	281.25
		1125	109.36585	148.02102	268.75
		1175	107.01362	144.83740	256.25
		1225	104.80692	141.85074	243.75
		1275	102.73133	139.04154	231.25
		1325	100.77436	136.39288	218.75
		1375	98.92513	133.89005	206.25
		1425	97.17411	131.52013	193.75
		1475	95.51289	129.27175	181.25
		1525	93.93405	127.13488	168.75
		1575	92.43101	125.10059	156.25
		1625	90.99789	123.16093	143.75
		1675	89.62942	121.30878	131.25
		1725	88.32089	119.53776	118.75
		1775	87.06805	117.84210	106.25
		1825	85.86705	116.21661	93.75
		1875	84.71442	114.65659	81.25
		1925	83.60700	113.15775	68.75
		1975	82.54190	111.71619	56.25
		2000	82.02439	111.01576	50
		2100	80.04760	108.34029	50
		2200	78.20718	105.84938	50
		2300	76.48813	103.52273	50
		2400	74.87768	101.34306	50
		2500	73.36484	99.29552	50
		2600	71.94015	97.36727	50
		2700	70.59535	95.54716	50
		2800	69.32326	93.82545	50
		2900	68.11755	92.19357	50
		3000	66.97263	90.64399	50

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

1.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra Conductores Enterrados

Resistividad del terreno:	26.45	·m
Diseño inicial Puesta a Tierra:	2	Rectangular
Longitud total de los conductores Lc:	142.11	m
Profundidad de enterrado conductor h:	1	m
Diámetro del conductor d:	0.010998	m
Radio efectivo conductor a':	0.105	m
Área total del mallado A:	481.502	m ²
1) Curvas de Schwarz		
Tipo de Curva:	1	CURVA A
Coeficiente k1:	1.321712932	
Coeficiente k2:	5.831076506	
2) Kerckel		
Coeficiente Kerckel k1:	1.317412053	
Coeficiente Kerckel k2:	7.447625412	
Método de cálculo:	Schwarz	
k1:	1.321712932	
k2:	5.831076506	
Resistencia PAT conductor R1:	0.629979475	

2.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra tipo estructural

Resistividad del terreno:	26.45	·m
Diseño inicial Puesta a Tierra:	2	Rectangular
Longitud de cada pica Lr:	1.5	m
Diámetro pica 2b:	0.0173	m
Número de picas nR:	3	
Longitud total picas LR:	4.5	m
Resistencia PAT picas R2:	194.619509	

3.- Cálculo Resistencia Mutua Puesta a Tierra

Resistencia PAT mutua Rm:	0.531604102
---------------------------	-------------

4.- Cálculo Resistencia Puesta a Tierra

Resistencia PAT R9:	0.62993
---------------------	---------

SÓLO MALLA (sin picas)

Diseño inicial Puesta a Tierra:	2	Rectangular
Área total A:	481.502	m ²
Resistividad del terreno :	779.885	·m
Profundidad de enterrado conductor h:	1	m
Longitud total de los conductores Lc:	142.11	m
Resistencia de PAT malla R9:	20.036907	

Tipo de diseño	Longitud conductores Lc	Área total A	Lx	Lx ²	Ly	Ly ²	Lx ² +Ly ²	Relación Lx/Ly	Lr	Dímetro pica 2b	Número de picas n _R
1 Cuadrado	1680	4900	70	4900	70	4900	9800	1	0	0	0
2 Rectangular	142.11	481.502	32.6	1062.76	14.77	218.1529	1280.9129	2.2071767	1.5	0.0173	3
3 Forma de L	632	470	47	2209	15	225	2434	3.1333333	3	0.0143	0

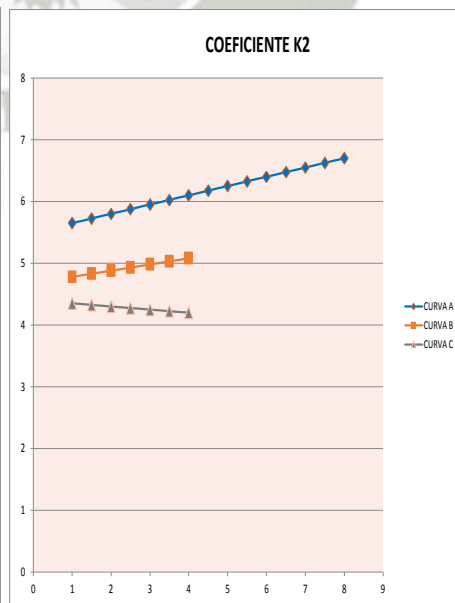
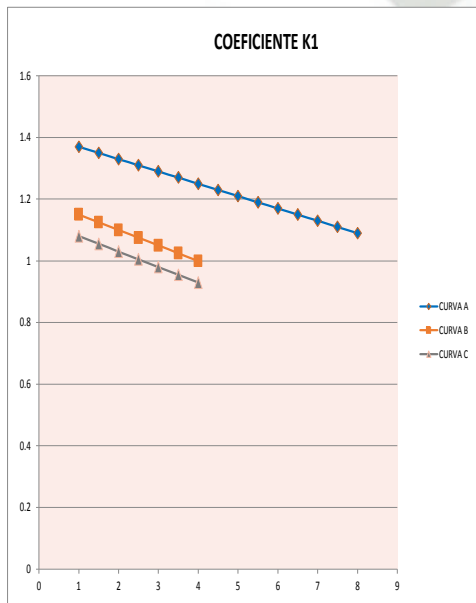
Cálculo de radio efectivo a'	
h	1
a'	0.10487135
a'	0.005499
a'	0.10487135

35
7.385
7.5

Cálculo Kerckel		
Tipo de diseño	Coefficiente K1	Coefficiente K2
1 Cuadrado	1.367676415	6.926107276
2 Rectangular	1.317412053	7.447625412
3 Forma de L	1.266812057	7.956012103

	k1	k2
Kerckel	1.317412053	7.447625412
Schwarz	1.321712932	5.831076506

Cálculo curvas de Schwarz										
Lx / Ly	COEFICIENTE K1			COEFICIENTE K2			Relación Lx/Ly	h	k1	k2
	Curva A para h=0	Curva B para h=(1/10)*RAIZ(Área)	Curva C para h=(1/6)*RAIZ(Área)	Curva A para h=0	Curva B para h=(1/10)*RAIZ(Área)	Curva C para h=(1/6)*RAIZ(Área)				
1	1.37	1.15	1.08	5.66	4.78	4.35	2.20717671			
1.5	1.35	1.125	1.055	5.725	4.83	4.325	CURVA A	0	1.322	5.831076506
2	1.33	1.1	1.03	5.8	4.88	4.3	CURVA B	2.1943154	1.09	4.900717671
2.5	1.31	1.075	1.005	5.875	4.93	4.275	CURVA C	3.6571923	1.02	4.289641165
3	1.29	1.05	0.98	5.95	4.98	4.25				
3.5	1.27	1.025	0.955	6.025	5.03	4.225				
4	1.25	1	0.93	6.1	5.08	4.2				
4.5	1.23	0.975	0.905	6.175	5.13	4.175				
5	1.21	0.95	0.88	6.25	5.18	4.15				
5.5	1.19	0.925	0.855	6.325	5.23	4.125				
6	1.17	0.9	0.83	6.4	5.28	4.1				
6.5	1.15	0.875	0.805	6.475	5.33	4.075				
7	1.13	0.85	0.78	6.55	5.38	4.05				
7.5	1.11	0.825	0.755	6.625	5.43	4.025				
8	1.09	0.8	0.73	6.7	5.48	4				



CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE PUESTA A TIERRA

1.- Datos de Entrada

Corriente de corto circuito Icc: 2.196 kA
 Split factor Sf: 0.80516
 Tipo de Resistencia de PAT: [Combinación de mallas y picas](#)
 Resistencia puesta a tierra Rpat: 0.629929638

2.- Cálculo de Df

Factor de reducción Df: 1.032625

3.- Cálculo Corriente I_G

Considerar factor Df: [No](#)
 Considerar factor Sf: [Si](#)
Corriente I_G: 1.7681 kA

4.- Cálculo Ground Potential Rise GPR

GPR: 1113.798347 V

¿GPR = 1113.80 < Etouch = 364.99 ? → →

CALCULO DE LA TENSION DE MALLA Y DE PASO

1.-Datos Generales

Resistividad del terreno :	26.45	.m
Diseño inicial puesta a tierra:	2 Rectangular	
Distancia entre conductores D:	11.84	m
Diámetro del conductor d:	0.010998	m
Profundidad cable enterrado h:	1.000	m
Factor geométrico n:	3.116796341	
Tipo de mallado:	3 Picas en las esquinas	
Factor Kii:	1.000	
Factor Kh:	1.414	
Factor Km:	1.012	
Factor geométrico Ki:	1.105285859	
Factor geométrico Ks:	0.198	
Corriente de falla I _G :	1768.13136	A
Longitud total efectiva L _M :	149.32	m
Longitud total conductores L _C :	142.11	m
Longitud picas total L _R :	4.50	m
Longitud efectiva L _S	110.41	m
Tensión de malla E_m:	350.18	V
Tensión de paso E_s:	92.90	V

Tipo de diseño	Distancia entre conductores	Factor geométrico n	Longitud efectiva L _M	Factor geométrico Ki	Longitud Total Conductor L _C	Longitud Total Picas L _R
1 Cuadrado	6.363636364	12	1680	2.42	1680	0
2 Rectangular	11.8425	3.116796341	149.3150932	1.105285859	142.11	4.5
3 Forma de L	2.85	14.72847195	632	2.823813849	632	0

Tipo de mallado	Kii
1 Sin picas	0.309049929
2 Picas no localizadas en las esquinas	0.309049929
3 Picas en las esquinas	1
4 Picas en el perímetro	1

CALCULO DE LA TENSION DE MALLA Y DE PASO

$$\zeta E_m = 350.18 < E_{touch} = 364.99 ?$$

1 SI

COMPROBAR Estep

$$\zeta E_s = 92.90 < E_{step} = 406.78 ?$$

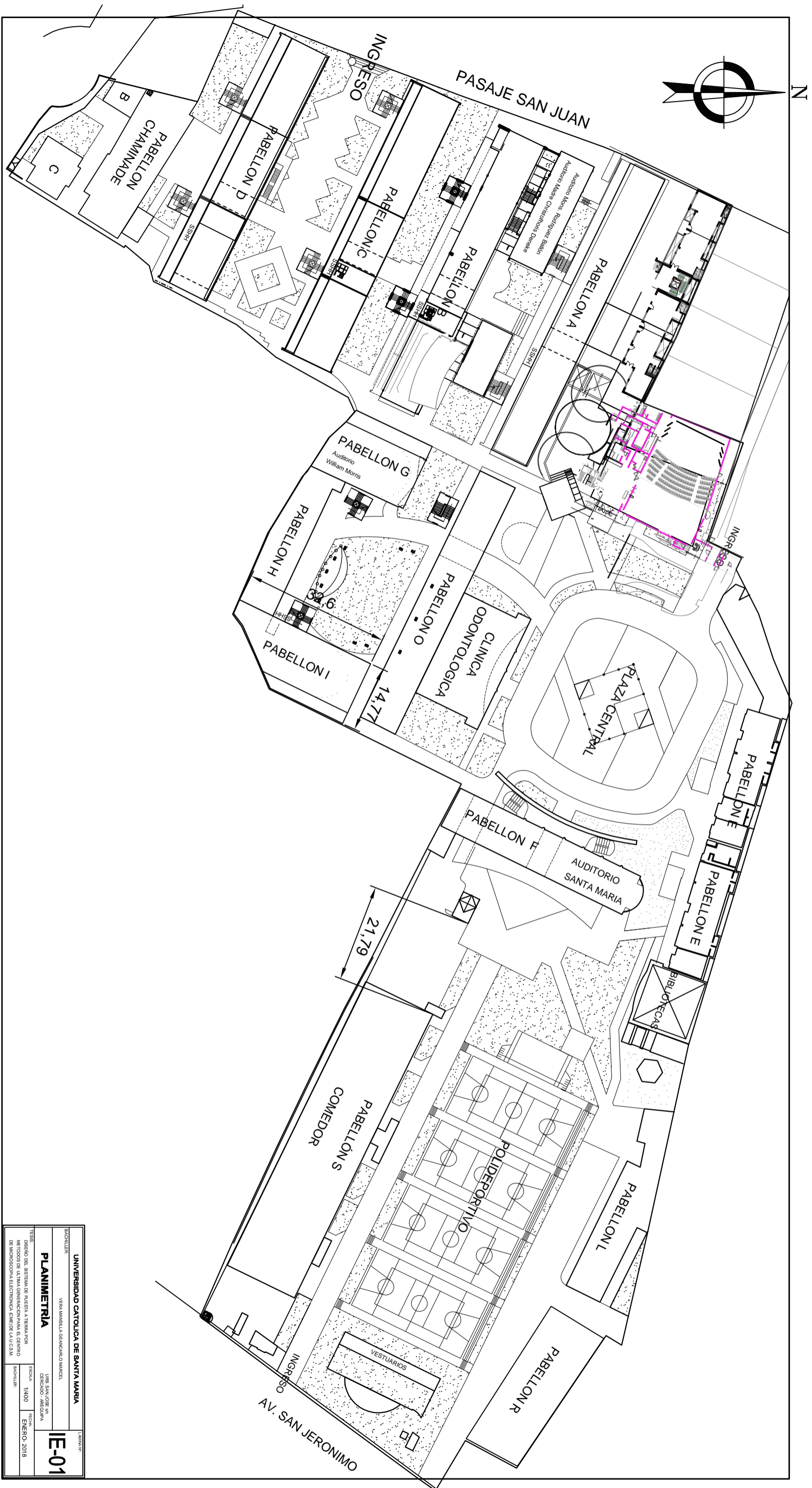
1 SI

DISEÑO PAT CORRECTO

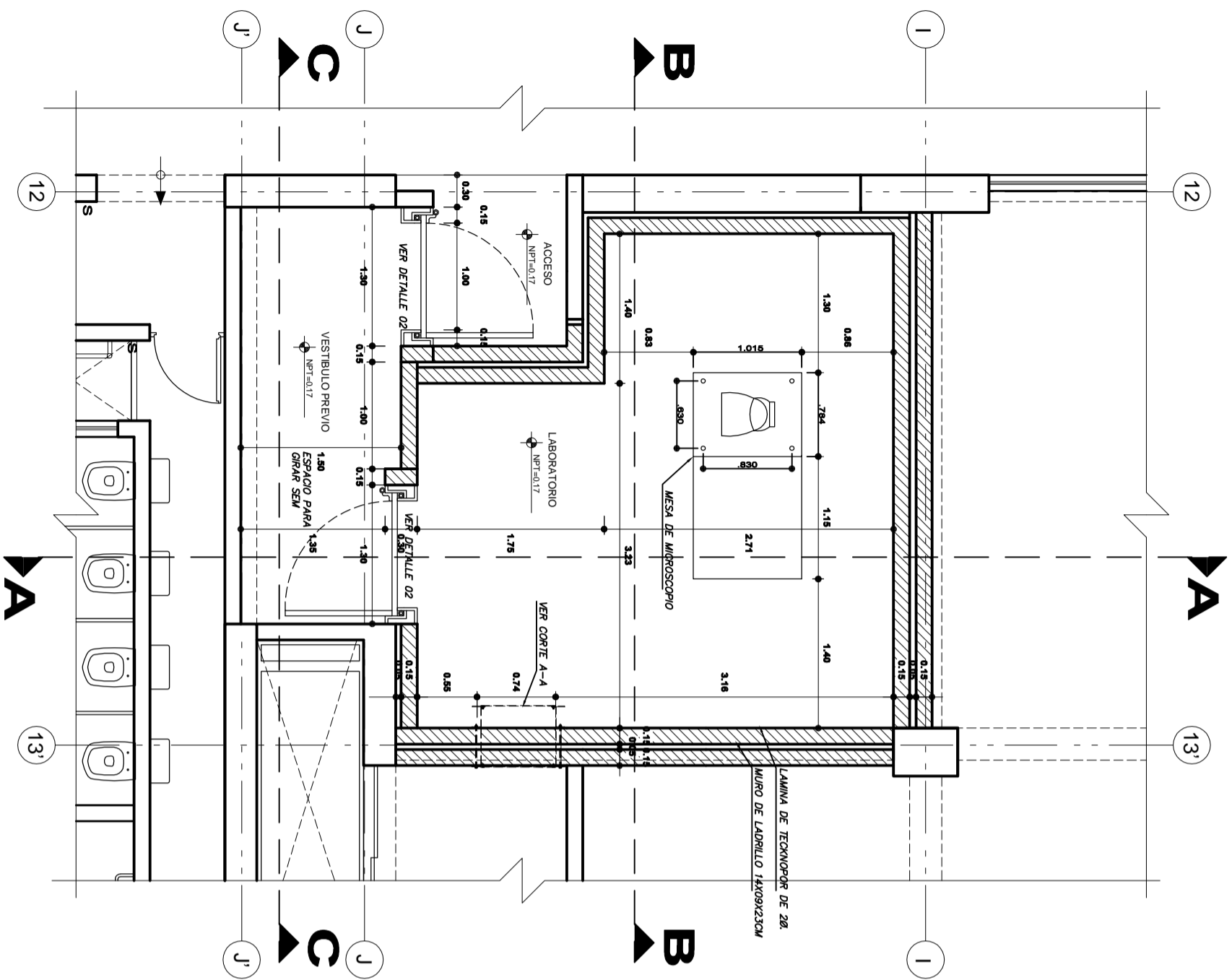
DISEÑO CORRECTO



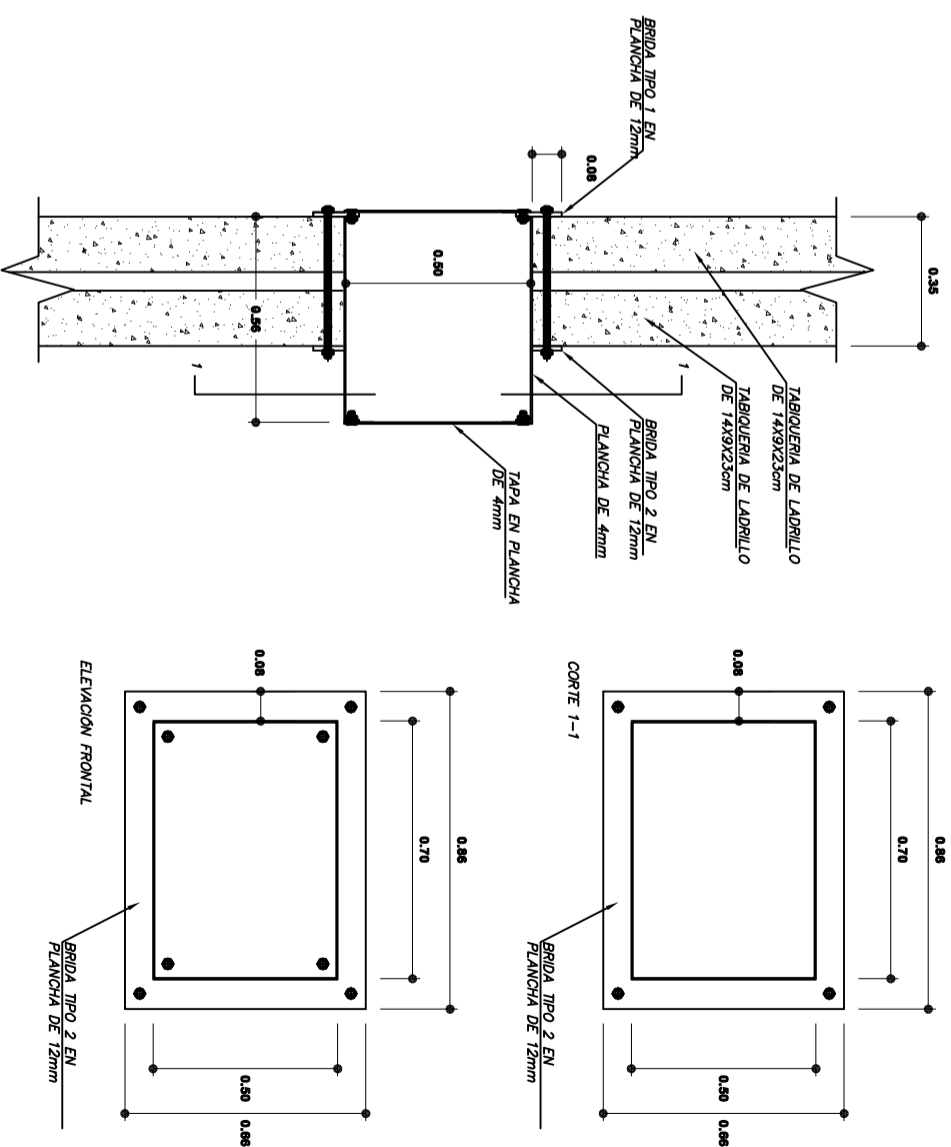
ANEXOS N° 2
PLANIMETRÍA DEL PROYECTO



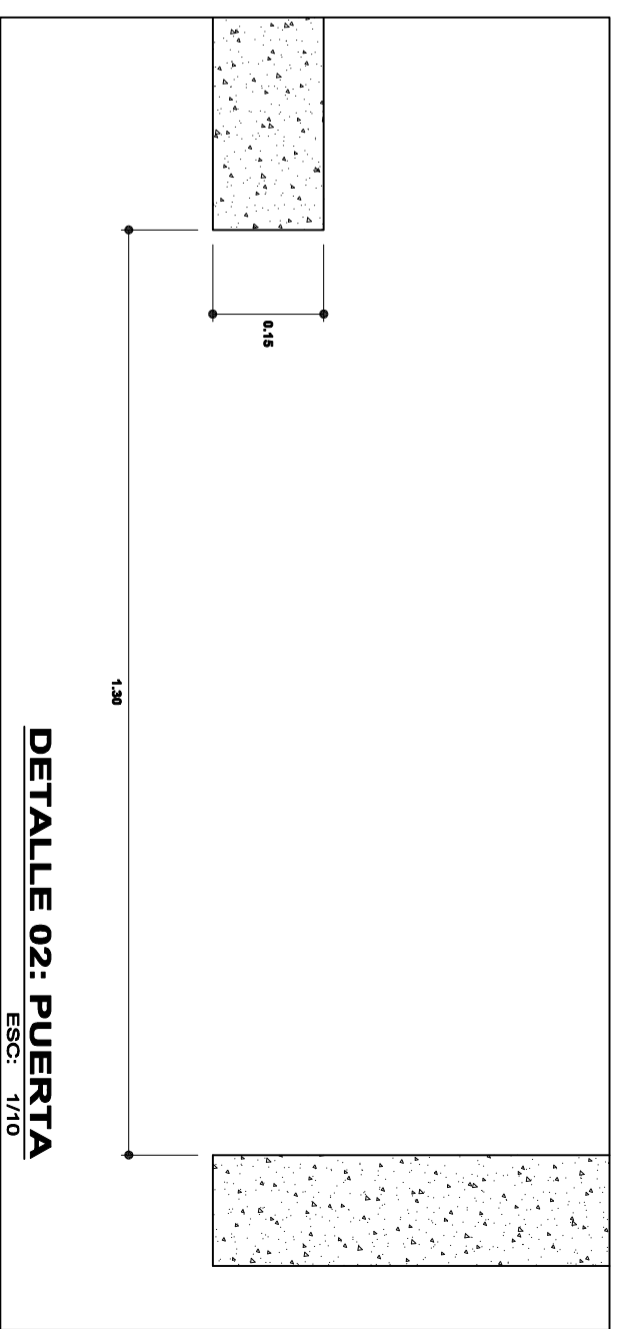
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		INSTITUTO	
DISEÑADORA: VERA MANUELA GRANDIOLIO MARCEL		AUTOR: URS	
PLANIMETRIA		UNIV. SAN JOSE SA	
TEMA: DISEÑO DEL SISTEMA DE PUERTA A TIERRA POR		CERCOLO - AREQUIPA	
METODOS DE LECTIVA DISEÑO Y DISEÑO DE CENTRO		ESCALA: 1/400	
DE SERVICIOS Y ESTACIONES (SERVICIO SANITARIO)		FECHA: ENERO-2018	
		IE-01	



PLANTA - SECTOR "LABORATORIO"
PRIMERA NIVEL"
 ESC: 1/50

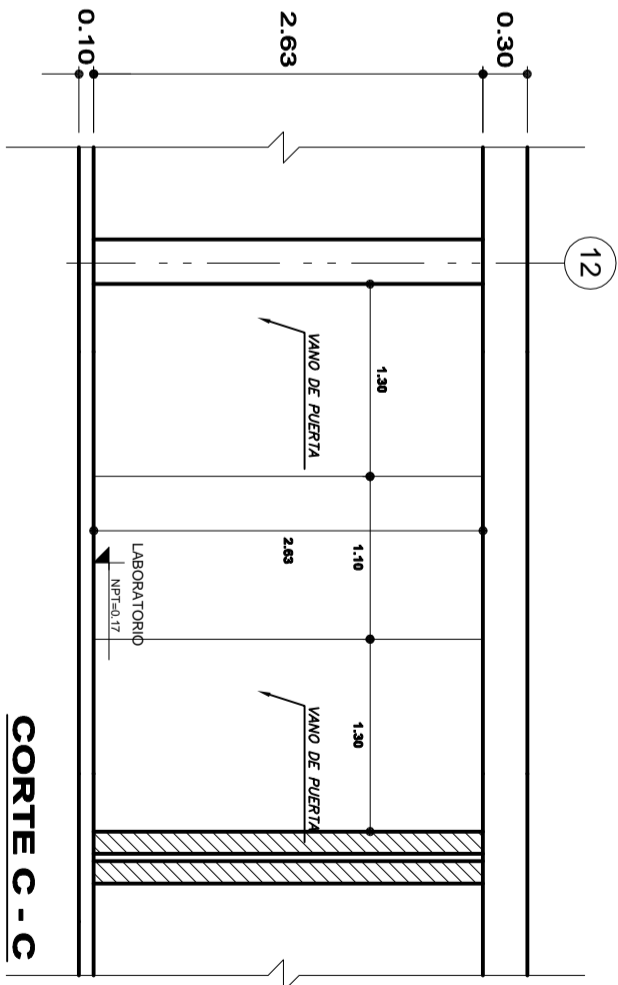
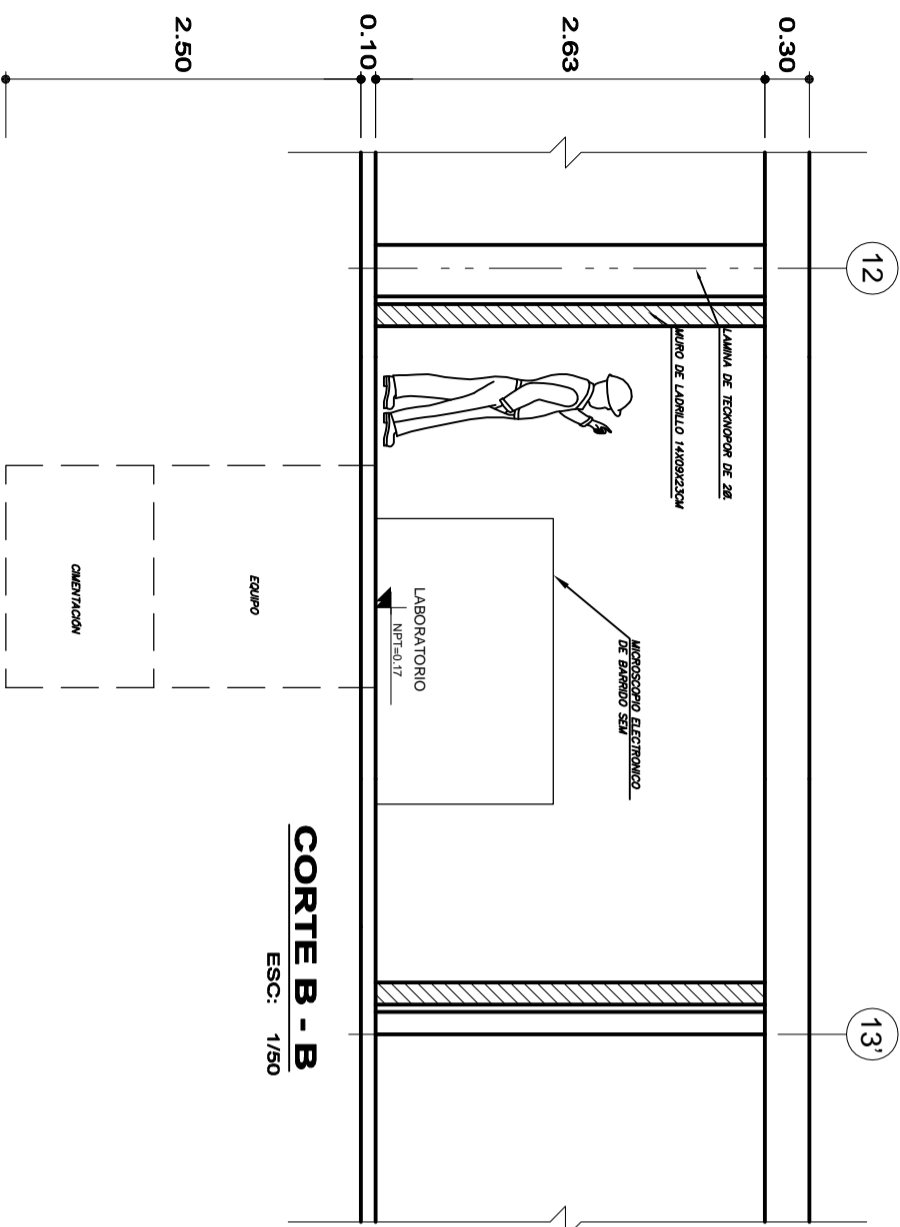
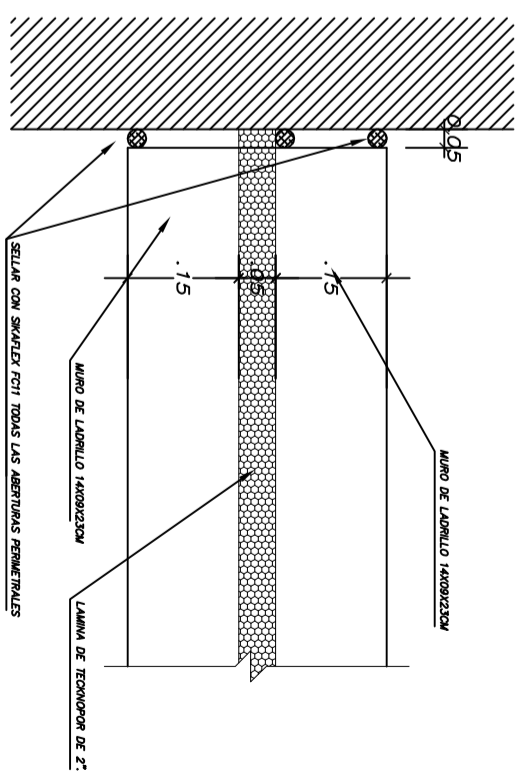
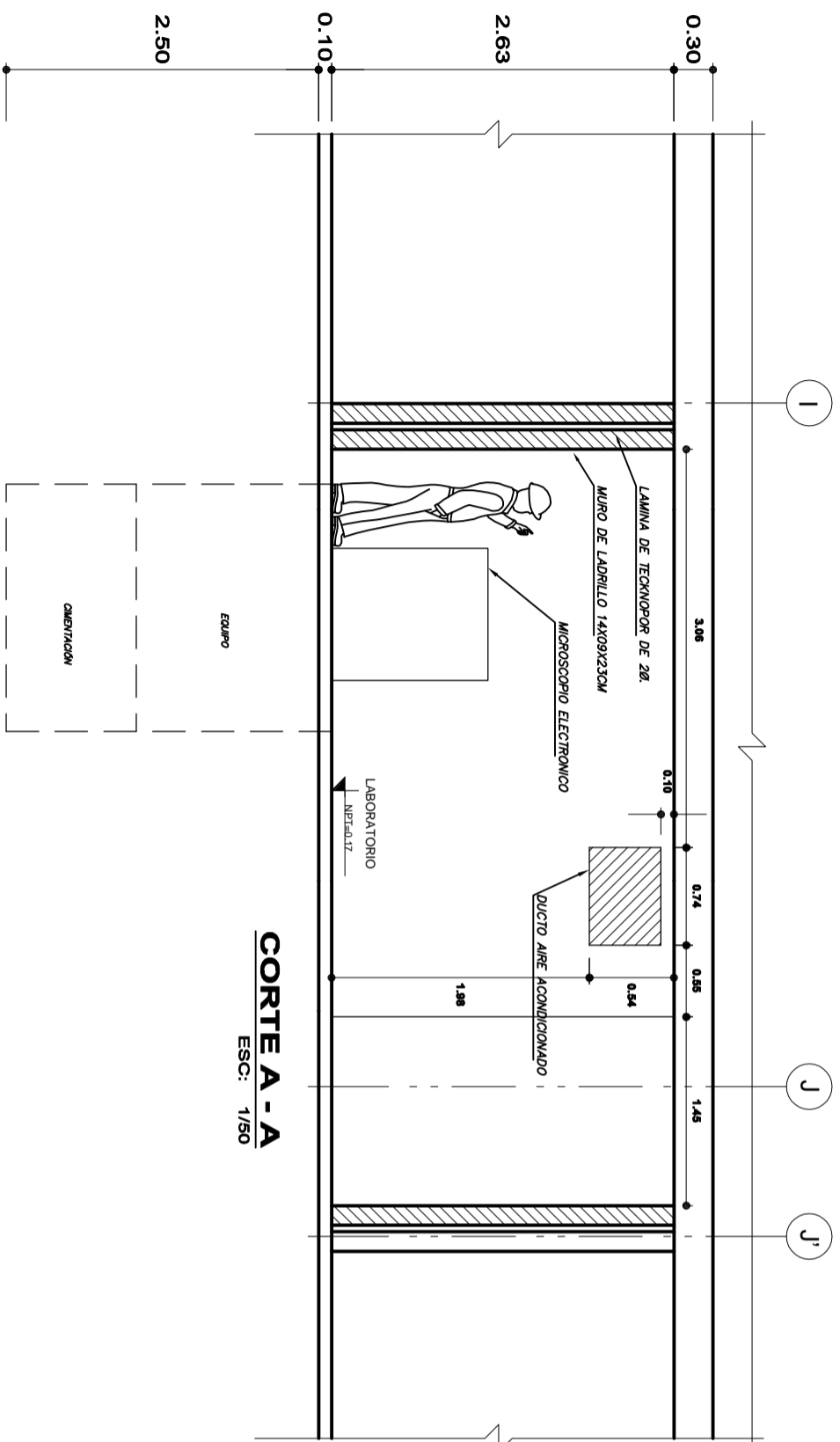


DETALLE 01: INGRESO Y SALIDA DE AIRE ACONDICIONADO Y GASES
 ESC: 1/20

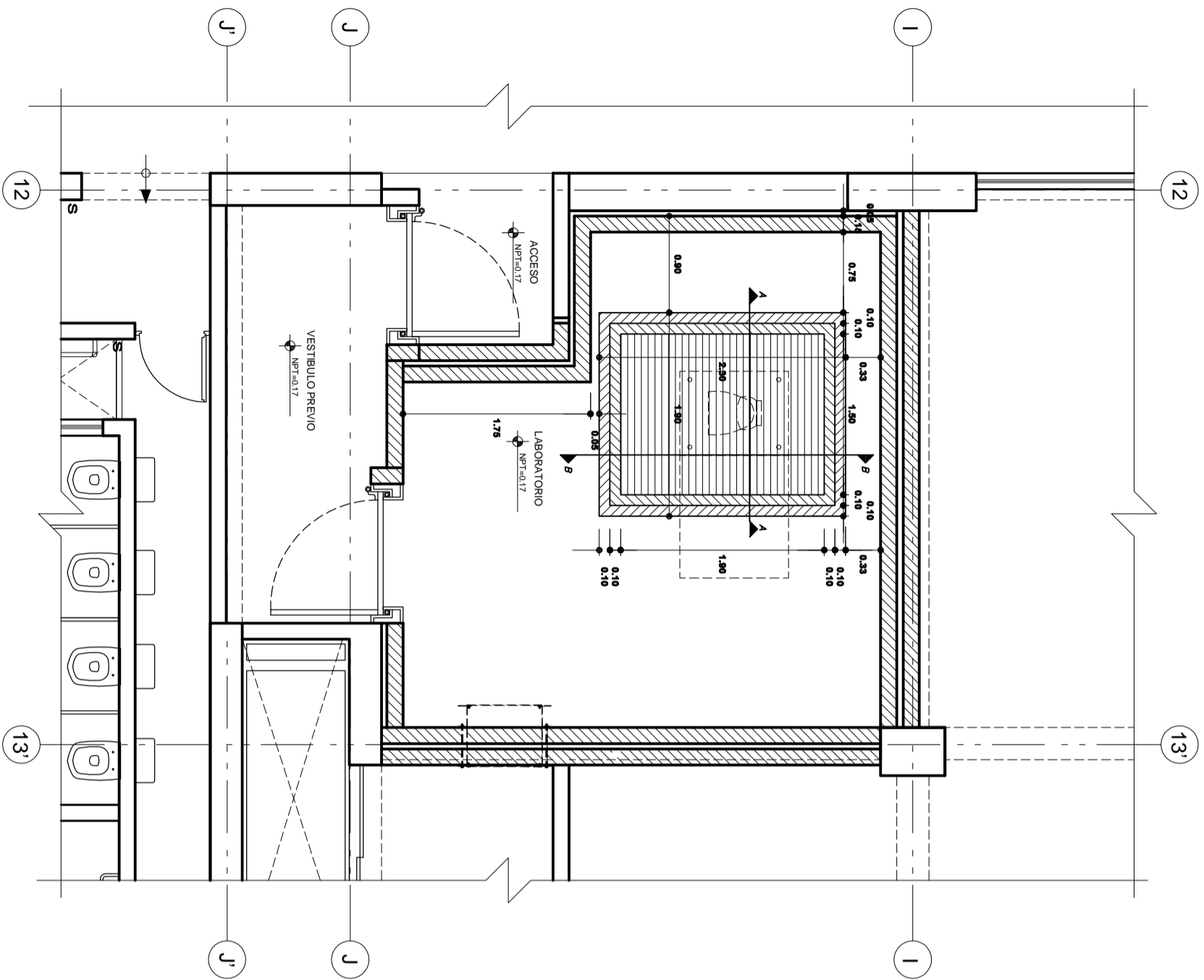


DETALLE 02: PUERTA
 ESC: 1/10

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		LAMINA Nº
BACHILLER:	VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL	IE-02
PLANTA Y DETALLES	URB. SAN JOSE s/n	
	CERCADO - AREQUIPA	
TESIS:		
DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (GME) DE LA U.C.S.M.		
ESCALA:	1/50	FECHA:
BACHILLER:		ABRIL - 2018



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		LAMINA N°
BACHILLER:	VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL	IE-03
PLANTA Y DETALLES		URB. SAN JOSE s/n
		CERCADO - AREQUIPA
TESIS:	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME) DE LA U.C.S.M.	
ESCALA:	1/50	FECHA:
BACHILLER:		ABRIL - 2018



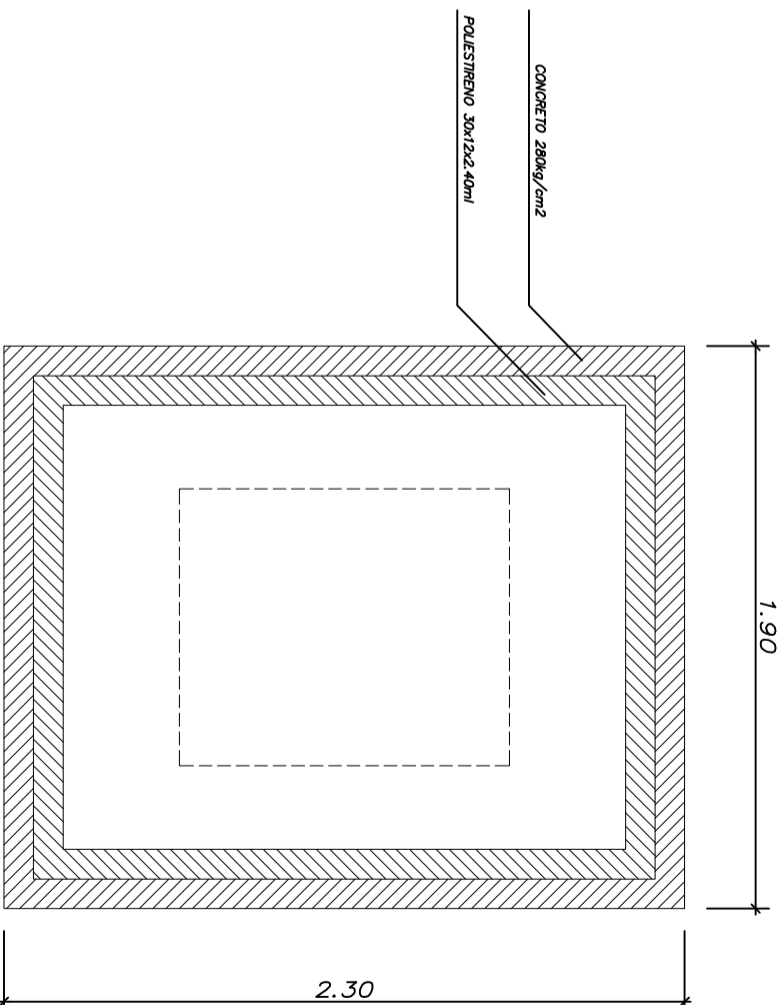
CIMENTACIÓN - LABORATORIO

ESC: 1/50

CIMENTACIÓN 01 - VISTA A - A "LABORATORIO"

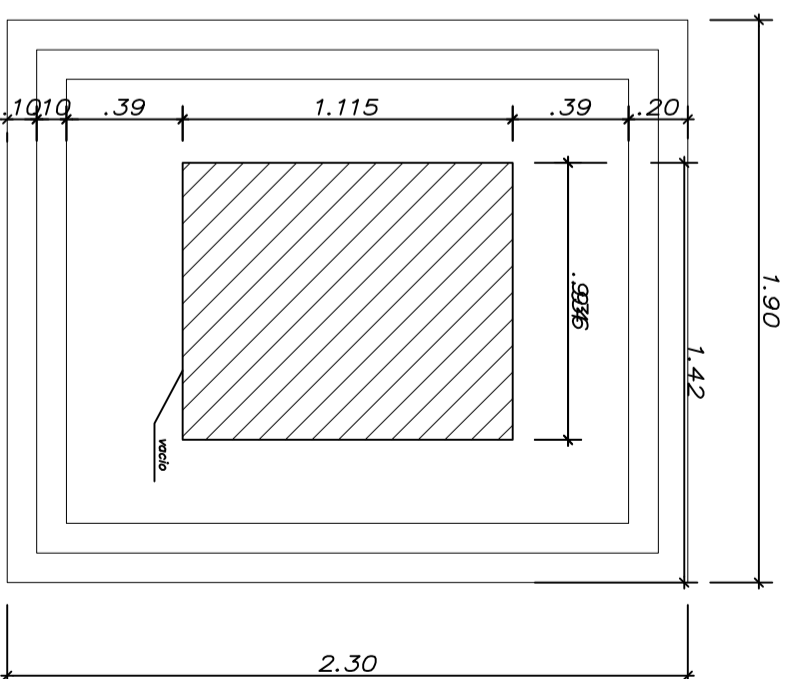
NOTA - N.P.T - 0.90

ESC: 1/25

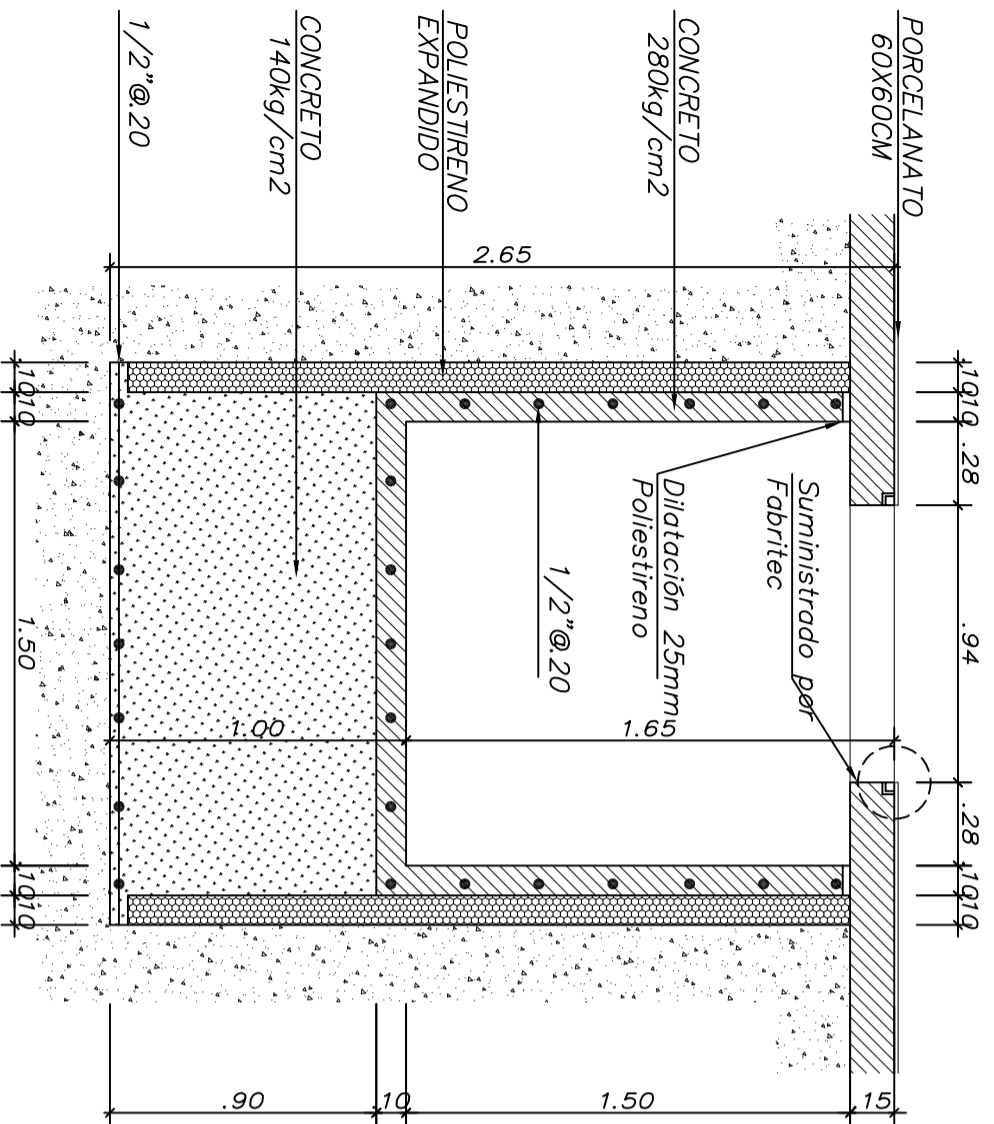


CIMENTACIÓN 01 - VISTA B - B "LABORATORIO"

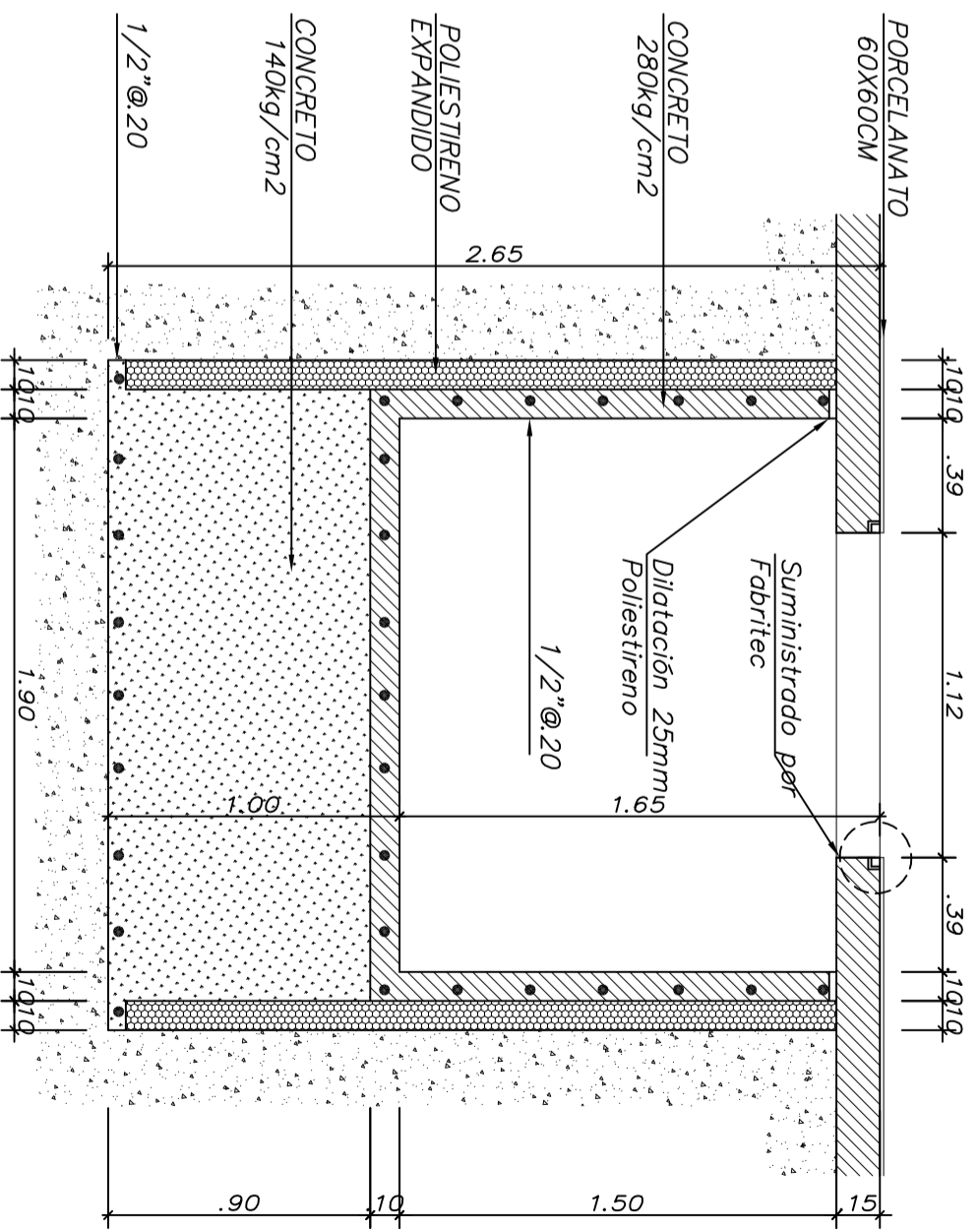
NOTA - N.P.T +0.20



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		LAMINA Nº:
BACHILLER:	VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL	IE-04
PLANTA Y DETALLES	URB. SAN JOSE s/n CERCADO - AREQUIPA	
TESIS:	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME) DE LA U.C.S.M.	
ESCALA:	1/50	FECHA: ABRIL - 2018
BACHILLER:		

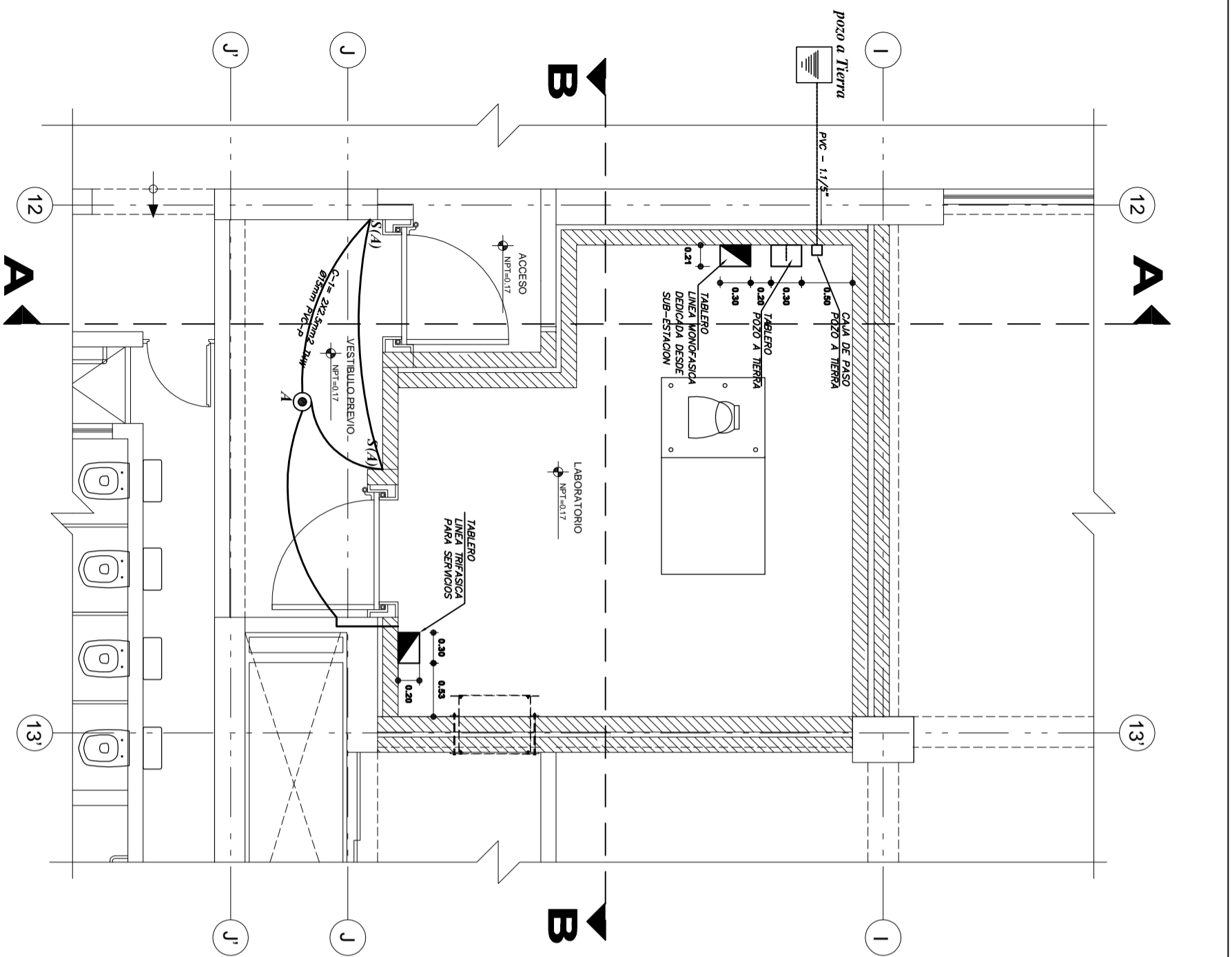


CORTE A - A
ESC: 1/25



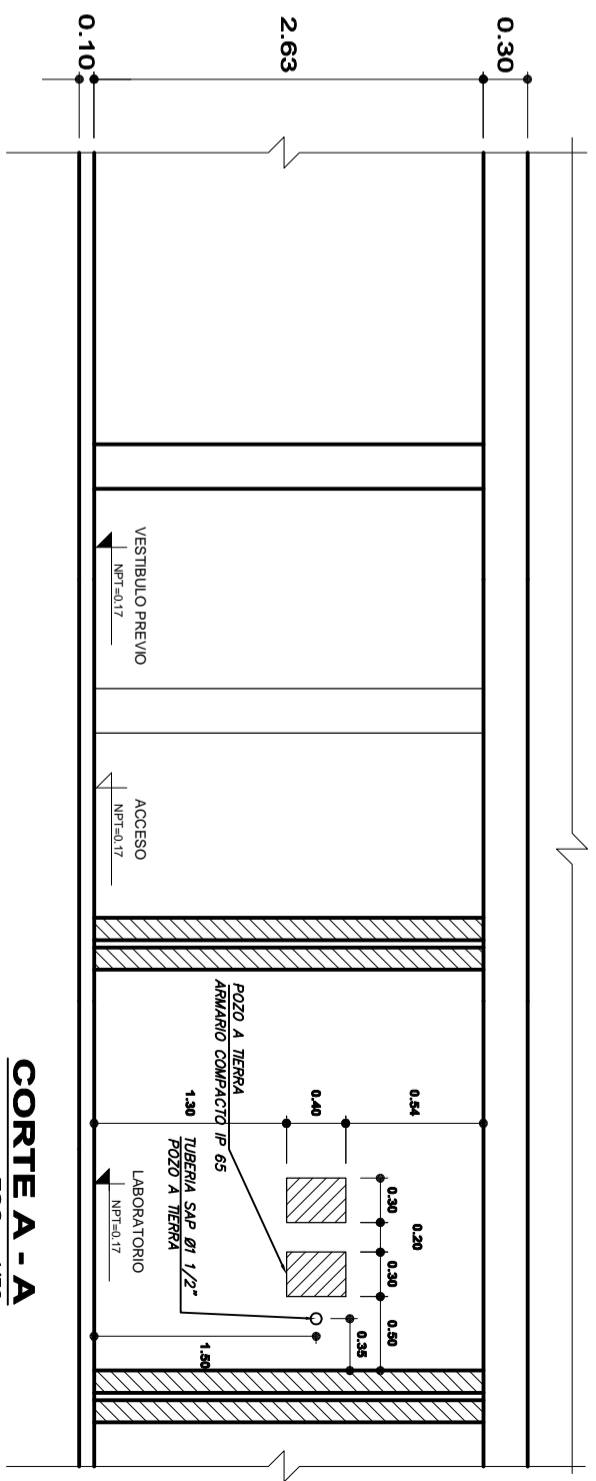
CORTE B - B
ESC: 1/25

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		LAMINA Nº
BACHILLER:	VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL	IE-05
PLANTA Y DETALLES	URB. SAN JOSE s/n CERCADO - AREQUIPA	
TESIS:	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME) DE LA U.C.S.M.	FECHA: ABRIL - 2018
ESCALA:	1/50	BACHILLER:

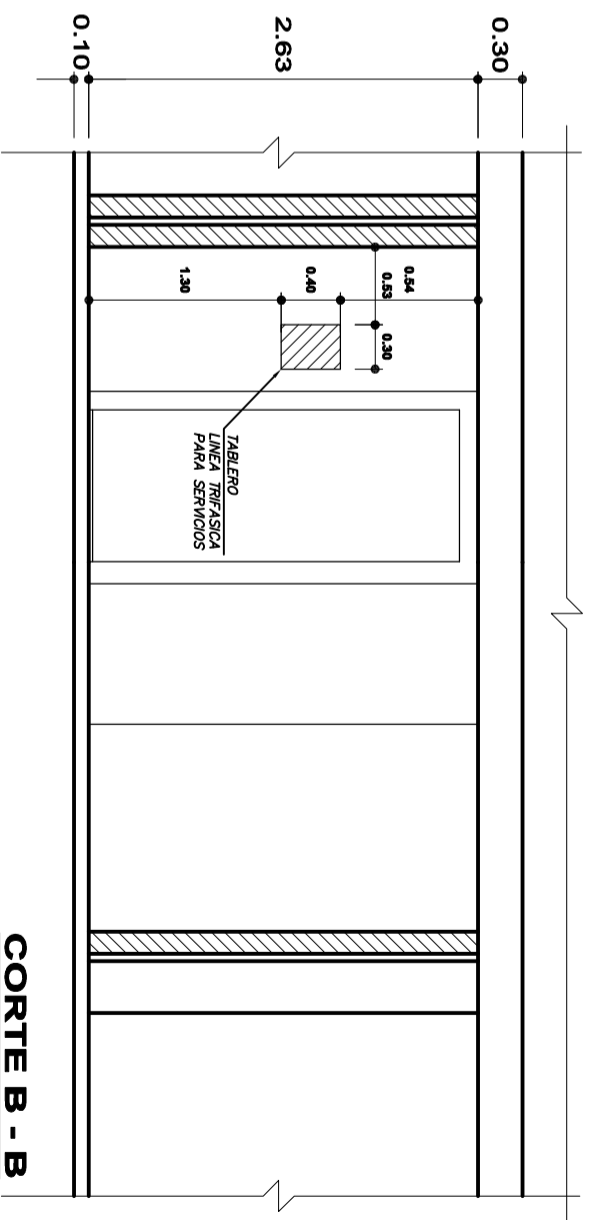


**PLANTA - INSTALACIONES ELECTRICAS
"LABORATORIO"**

ESC: 1/50



CORTE A - A
ESC: 1/50



CORTE B - B
ESC: 1/50

SIMBOLO	DESCRIPCION
	TABLERO DE DISTRIBUCION ELECTRICA
	SPOT DIODICO
	INTERRUPTOR DE 3 VAS 6 CONMUTACION H=1,40m

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		LAMINA N°:
BACHILLER:	VERA MANSILLA GEANCARLO MARCEL	
PLANTA Y DETALLES		
URB. SAN JOSE s/n		
CERCADO - AREQUIPA		
IE-06		
TESIS:	DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA POR METODOS DE ULTIMA GENERACION PARA EL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA (CME) DE LA U.C.S.M.	
ESCALA:	1/50	FECHA:
BACHILLER:		ABRIL-2018

