

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



INFORME TÉCNICO

Título:

*PUESTA A TIERRA DE LA SALA DE INFORMATICA
ECOM (Escuela de Comunicaciones del Ejército del
Perú)*

Autor:

ARTURO BENITO RODRIGUEZ GARCIA

Grado a Optar:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

LIMA - PERÚ

1999

Objetivos:

- ❖ Los objetivos fundamentales de la puesta a tierra de la Sala de informática son:
- ❖ Garantizar la integridad física de las personas que operan los equipos de Informática y comunicaciones.
- ❖ Mantener la operatividad de los equipos, evitando que cargas e cortocircuito deterioren los equipos.
- ❖ Evitar sobrevoltajes entre estructuras, equipos y el terreno, durante fallas o en condiciones normales de operación.
- ❖ Obtener una resistencia de aterramiento menor de 7 ohmios según solicitud del proveedor de los equipos de comunicaciones.
- ❖ Mantener los límites permisibles de las corrientes de falla protegiendo contra la fibrilación ventricular cardiaca, de los operadores.

COMO EVITAR ACCIDENTES ELECTRICOS

- Respete las distancias de seguridad.
- Limite el uso de cables de extensión.
- Si tiene niños proteja los tomacorrientes.
- Considere todo conductor como energizado.
- Use las conexiones a tierra de los artefactos.
- No manipule artefactos con manos mojadas.
- Dejar los problemas eléctricos a los electricistas.
- No volar cometas cerca de cables o postes de luz.
- Revise periódicamente sus instalaciones y equipos.

CAUSAS DE LOS ACCIDENTES ELECTRICOS

Por condiciones subestándares

- No respetar las distancias de seguridad.
- Aislamiento deficiente en conductores e instalaciones.
- Falta de conexión o no uso del sistema de aterramiento.
- Aislamiento deficiente en herramientas y equipos.
- Equipos y/o materiales de baja calidad.
- Sobre carga de las instalaciones.
- Instalaciones en mal estado.

CAUSAS DE LOS ACCIDENTES ELECTRICOS

Por actos subestándares

- Exceso de confianza.
- Desconocimiento del riesgo.
- Desconocimiento del trabajo.
- Falta de supervisión efectiva.
- No uso del equipo de protección personal.
- No uso de equipos y herramientas adecuadas.

EFFECTOS DE LAS CORRIENTES EN EL CUERPO HUMANO

- Paro respiratorio (Tetanización)
- Fibrilación ventricular.
- Quemaduras.

FACTORES QUE INFLUYEN EN UN ACCIDENTE ELECTRICO

- Intensidad de la corriente eléctrica.
- Nivel de tensión
- Reistencia del cuerpo humano.
- Recorrido a través del cuerpo.
- Tiempo de contacto.
- Condiciones físicas de la persona.
- Condiciones del ambiente.
- La frecuencia.

PROLOGO

Sin duda alguna la protección de los sistemas eléctricos y/o electrónicos son un punto importante dentro de todo diseño, toda vez que los equipos y operadores deben trabajar dentro de las normas que Código Eléctrico del Perú establece, para su protección.

Este informe pretende dotar de un **SISTEMA DE ATERRAMIENTO** para la **SALA DE INFORMÁTICA DE LA ECOM.**

El presente trabajo consta de 6 capítulos los que determinan la elaboración del Informe de Ingeniería:

El Primer capítulo, establece una breve descripción de los elementos técnicos disponibles para llevar al cumplimiento de los objetivos, tales como:

- ❖ Mantener la operatividad de los equipos, evitando que cargas e cortocircuito deterioren los equipos.
- ❖ Evitar sobrevoltajes entre estructuras, equipos y el terreno, durante fallas o en condiciones normales de operación.
- ❖ Obtener una resistencia de aterramiento menor de 7 Ohmios según solicitud del proveedor de los equipos de comunicaciones.

El Segundo Capítulo, presenta una serie de conceptos fundamentales que permitirán el mejor desarrollo del diseño.

El Tercer capítulo, presenta los resultados de las mediciones en el propio terreno donde se dispone realizar el Sistema de Aterramiento.

El Cuarto Capítulo, presenta los cálculos del Sistema de Protección y Selección de los Elementos Principales, para proteger las personas y equipos y los elementos principales del diseño.

El Quinto Capítulo, realiza una presentación de las mediciones realizadas post-construcción.

El Sexto Capítulo, presenta un listado de los costos que se llevaron a cabo para la realización del proyecto.

Es preciso mencionar que los objetivos fueron cumplidos en su totalidad y que dicho Sistema funciona actualmente en la ECOM.

No podría dejar de agradecer a:

ECOM, en la persona del Director CRNL COM ANDRES ACOSTA BURGA, por su incondicional apoyo a la realización de este informe.

C.E.E. “San Francisco de Asís” en la persona de **SOR PILAR YAÑEZ CRISTOBAL**, cuyo decidido apoyo financiero fue vital para la realización de este informe.

Ing. VICTOR ZAMORA, cuyo apoyo técnico pudo llevar por buen camino la estructuración de este proyecto.

Muchas Gracias a Mis Padres y a todas aquellas personas que directa o indirectamente se vieron involucradas positivamente para la realización de este proyecto.

Bach. Arturo B. Rodríguez García

Ing. Mecánica-Eléctrica

CAPITULO 01

1. INTRODUCCION

El presente informe del pozo de tierra correspondiente al sistema de protección de la **Sala De Informática de la ECOM**. (Escuela de Comunicaciones el Ejercito del Perú)

Para proporcionar un sistema de protección de los equipos, personal, de acuerdo con las normas del código nacional de electricidad, motivo por el cual es necesario construir el pozo de tierra.

La red de conexión estará conformada por un cable de cobre electrolítico (99.99 % de Pureza) tendido desde el pozo a tierra hacia un tablero general, y de este a todas las estaciones de trabajo a través de su línea estabilizada.

El pozo a tierra protegerá 30 PC, que permitirán el normal funcionamiento de estas.

Las computadoras a proteger son de las siguientes características:

COMPUTADORES AT 486 DX2-66

- 01 Mainboard AT 486 DX2 – 66 MHz.
- RAM 8 Mb.
- 01 Tarjeta controladora Super IDE
- 01 Tarjeta de video 1 Mb.
- 01 Disco Duro de 540 Mb.
- Case Minitower
- Teclado Doble Golpe
- Disk Drive 3 ½" HD
- Mouse 3 Teclas

EL consumo aproximado de cada una de ellas es de 150 w. Según especificaciones técnicas de sus manuales operativos.

Potencia Instalada Total	:	4500 W
Voltaje	:	220 V
Corriente Máxima de trabajo	:	20.45 A
Posee un Interruptor de	:	25.00 A

Por las características del terreno, disponibilidad, economía y normas de seguridad de la ECOM se decidió construir 2 pozos, conectados con un cable AWG # 6.

El informe consta de 6 capítulos que se distribuyen de la siguiente manera:

EL PRIMER CAPITULO, describe las partes y procesos del presente informe.

EL SEGUNDO CAPÍTULO, trata de entregar todas las herramientas disponibles en el país, para el desarrollo de un sistema de aterramiento, desde el punto de vista técnico, se muestran las ecuaciones que regulan los comportamientos de la resistividad de los suelos y su valor.

Muestra los métodos de cálculo y mediciones existentes en el medio, para la evaluación y diseño de un pozo a tierra.

Es necesario indicar que las tendencias actuales no determinan estudios si no diseños con jabalinas horizontales dispuestos radialmente, de tal manera que se pueda seguir aumentando pozos hasta llegar a la resistencia deseada, pero esta técnica tiene el inconveniente, que se debe disponer de una gran área de terreno en la cual se pueda llevar a cabo.

EL TERCER CAPITULO, indica las mediciones y monitoreo de la resistividad del suelo, llevado a cabo por el departamento técnico de la **Escuela de Comunicaciones del Ejercito**, y que se muestra con un listado de sus resultados.

EL CUARTO CAPITULO, realiza los cálculos pertinentes, según normas establecidas, que ha decir verdad no existen de manera específica para sistemas de cómputo, pero que se utilizan aquellas que por sus características pueden resultar beneficiosas para la elaboración del proyecto.

Se obtuvo que el resultado será de 5.14 Ohm, con 2 pozos a tierra con jabalinas de cobre electrolítico con 1" de diámetro, y 2.4 m de longitud, conectadas con un cable AWG # 6, unidas a las jabalinas con soldadura de plata.

El aditivo elegido es la **BENTONITA**, ya que es el que se encontraba disponible en el departamento logístico de la **ECOM**.

Cabe mencionar que se ha tenido que trabajar en función de la disponibilidad logística en el momento de ejecución del proyecto.

EL QUINTO CAPITULO, muestra los resultados obtenidos de las pruebas post-construcción, realizados por el Departamento Técnico de la **ECOM**, la

misma que determina una resistencia de 4.5 Ohm, logrando una buena resistencia a tierra.

Cabe mencionar que se construirá un tercer pozo para conectarse al sistema, logrando la disminución de esta resistencia cuando en función al tiempo esta aumente a rangos que determinen dicha construcción.

EL SEXTO CAPITULO, permite observar los costos unitarios y totales de los elementos que intervienen en la construcción del pozo a tierra.

Los mismos que han sido proporcionados por el departamento logístico de la ECOM.

CAPITULO 02

2. CONCEPTOS TEORICOS

2.1 DEFINICIÓN GENERALES

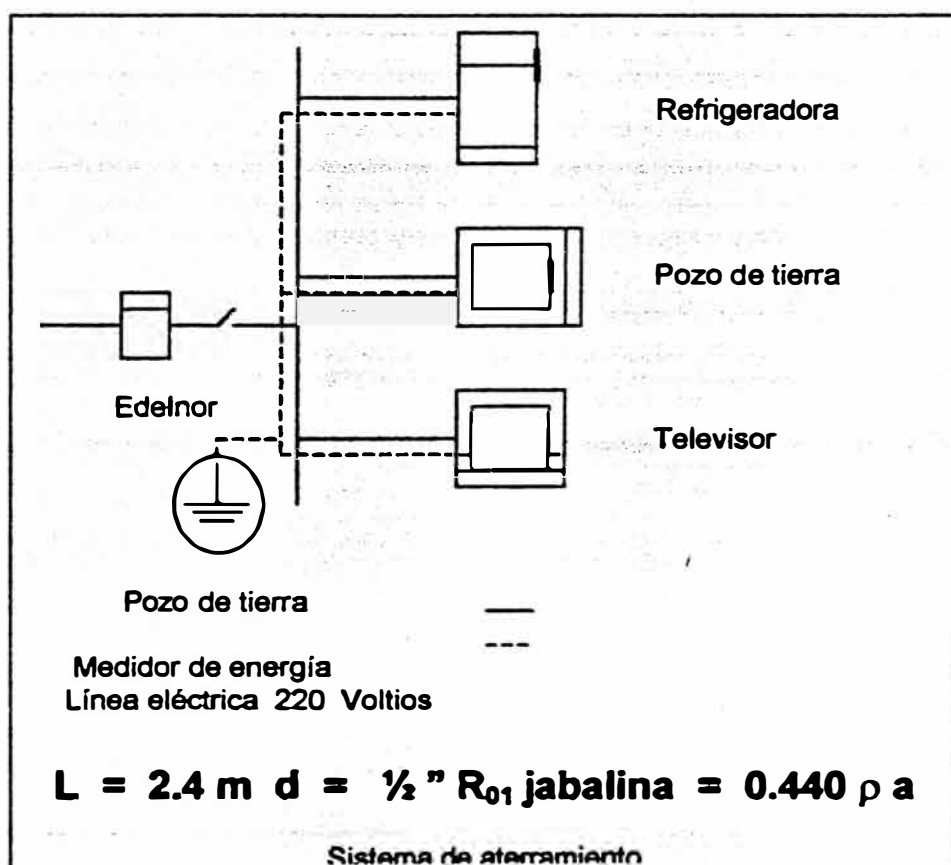
Todas las instalaciones a proyectar y las existentes relacionadas con el uso de la electricidad, tales como: zonas urbanas, comercial, e industriales, etc. deberán cumplir con lo establecido por el Código Nacional de Electricidad (CNE).

El Código Nacional de Electricidad del Perú, es un conjunto de normas creado por la Dirección General de Electricidad (DGE) órgano técnico normativo del Ministerio de Energía y Minas. En el Código se dan Normas, instrucciones y guías de procedimientos para cautelar la seguridad en el uso de la electricidad.

2.1.1 Definiciones

2.1.1.1 Definición de Puesta a Tierra.-

De acuerdo al CNE, la denominación de Puesta a Tierra comprende toda ligazón metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación, y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificio y superficie próxima al terreno no existan diferencias de potencial o sobrecargas, al mismo tiempo se permita el paso a tierra de las corrientes de falla o de descarga de origen atmosférico.



2.1.1.2 Acometida

Parte de una instalación eléctrica comprendida entre la red de distribución y la caja o cajas de medición (medidor). Es propiedad de la empresa eléctrica.

2.1.1.3 Aislamiento

Envoltorio o revestimiento aislante aplicado sobre un cable conductor.

2.1.1.4 Baja Tensión

Se denomina así a la utilización inferior a 1000 voltios. Para las zonas urbanas por ejemplo es de 220 voltios.

2.1.1.5 Carga

Potencia activa o aparente consumida o suministrada a una máquina o a una red.

2.1.1.6 Conductor de puesta a tierra

Conductor de cobre aislado o desnudo que es usado para conectar los equipos o el sistema de alambrado con uno o más electrodos a tierra.

2.1.1.7 Conductividad

Es una característica intrínseca de los materiales, que favorece al paso de la corriente eléctrica. Es la inversa de la resistividad. (Siemens por metro S/m)

2.1.1.3 Contacto a tierra

Conexión accidental de un conductor con la masa terrestre (tierra), directamente o a través de un elemento extraño.

2.1.1.9 Cortocircuito

Conexión intencional o accidental entre dos puntos de un circuito a través de una impedancia despreciable, en la que se produce el cortocircuito.

2.1.1.10 Electrodo

Elemento de la puesta a tierra, encargado de llevar las corrientes de falla o de origen atmosférico hacia tierra.

2.1.1.11 Energía

Capacidad que tiene la electricidad para producir trabajo. Se define como el trabajo que realiza un aparato de una determinada potencia al utilizarlo durante un tiempo.

2.1.1.12 Intensidad eléctrica ó corriente eléctrica

Se define como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un hilo conductor en un segundo.

$$I = \frac{V}{R}$$

Su unidad de medida es el Amperio. Como se puede observar en el esquema anterior, la tensión suministrada por la empresa eléctrica es de 220 voltios, así como la conexión de todos los artefactos electrodomésticos. Cada equipo origina una corriente eléctrica, mientras más equipos se instalan en el circuito mayor será la intensidad total, y la energía solicitada.

2.1.1.13 Ohmio

Unidad de medida de la resistencia y se representa por el símbolo (Ω). Ejm: Una plancha eléctrica que

consume una potencia eléctrica de 1000 W tiene una resistencia eléctrica aproximada de 48,4 Ω .

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

2.1.1.14 Potencia eléctrica

En los aparatos eléctricos se define como la capacidad de los mismos para producir trabajo. Su unidad es el vatio y su símbolo es (W).

2.1.1.13 Puesta a tierra

Comprende a toda ligazón metálica directa sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencia peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falla o de la descarga de origen atmosférico o de cortocircuito.

2.1.1.16 Red de tierra

Red de protección, independiente de la red eléctrica, y que, unida íntimamente con tierra, tiene como objeto evacuar las corrientes de falla o de derivaciones que se producen por una eventual falta de aislamiento.

2.1.1.17 Resistencia eléctrica

Es la mayor o menor oposición que ofrece un conductor al ser atravesado por una corriente eléctrica.

2.1.1.18 Resistencia a tierra

Valor de la resistencia entre un punto cualquiera de una instalación, sea esta parte activa desenergizada, o no activa, y la masa terrestre.

2.1.1.19 Resistencia total de puesta a tierra

Resistencia medida entre el borne principal de tierra y la tierra.

2.1.1.20 Resistividad

Característica intrínseca de los materiales, que se opone al paso de la corriente eléctrica.

2.1.1.21 Sobrecarga

Exceso de carga sobre el valor nominal de plena carga de un equipo o sobre la capacidad de corriente de un conductor, la cual cuando persiste por un tiempo suficientemente prolongado puede causar daño o sobre calentamiento peligroso.

2.1.1.22 Telurómetro

Aparato destinado a medir la resistencia de paso a tierra de una instalación de puesta a tierra.

2.1.1.23 Tensión nominal

Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Su unidad de medida es el voltio.

2.1.1.24 Tensión a tierra

En los circuitos puestos a tierra, es la tensión eficaz entre un conductor dado y el punto o el conductor que está puesto a tierra. En los circuitos no puestos a tierra, es la mayor diferencia de tensión entre un conductor dado y cualquiera de los otros conductores del circuito.

2.1.1.25 Tensión de toque

Parte de la tensión del electrodo de puesta a tierra, que puede ser puenteada por una persona y donde la vía de corriente pasa de un pie al otro.

2.1.1.26 Usuario

Persona natural o jurídica que ocupa un predio y está en posibilidad de hacer uso del suministro eléctrico correspondiente.

2.2 PARTES DE LOS SISTEMAS DE ATERRAMIENTO

La eficiencia de un sistema con conexión a tierra depende de una buena selección de las partes que la componen por lo que un buen conocimiento de las características y especificaciones de las mismas asegurarán en buena medida su excelente desempeño. La puesta a tierra en una instalación de vivienda es lo que se conoce en nuestro país como “el pozo de tierra”, sin embargo el tamaño de la instalación eléctrica que este protege, determinará si la puesta a tierra está formada por uno o varios pozos de tierra y la geometría que estos tendrán.

Las partes de un sistema de aterramiento son:

2.2.1 El terreno

2.2.2 Los electrodos.

2.2.3 La línea principal.

2.2.4 La línea secundaria.

2.2.5 Conductores de protección

2.2.1 El terreno

En un sistema de aterramiento el terreno juega un papel fundamental, ya que es el encargado de disipar las corrientes de falla ó las descargas atmosféricas. El comportamiento eléctrico del terreno es definido por su RESISTIVIDAD, la cual es una característica de todos los materiales que nos da una idea de la resistencia que ofrece un material a ser atravesado por la corriente eléctrica.

Los materiales con baja resistividad dejan pasar fácilmente la corriente a través de ellos y por lo tanto se dice que son buenos conductores, este es el caso del cobre, el acero y la mayor parte de los metales. En cambio, los materiales con alta resistividad, se oponen al paso de la corriente y por lo tanto se denominan materiales aislantes; tal es el caso de los vidrios, plásticos, cuarzos, etc.

La resistividad del terreno depende de los materiales que lo forman y se mide en Ohmios por metro ($\Omega\text{-m}$), como la mayor parte de los terrenos está formada por una serie de capas, su

resistividad será el resultado de la composición de cada una de ellas.

Los suelos están compuestos principalmente, por óxidos de silicio (Si O_2) y óxidos de aluminio ($\text{Al}_2 \text{O}_3$) que son muy buenos aislantes, sin embargo, la presencia de sales y agua contenidos en ellos mejora su conductividad.

El mecanismo de conductividad de los suelos, es fundamentalmente un proceso electrolítico (agua y sal contenidas), sin embargo en los terrenos secos, los factores que controlan su conductividad serán el tamaño de las partículas y el volumen de aire apisonado en ellas.

2.2.1.1.1 Factores que determinan la resistividad de los suelos

El terreno está caracterizado eléctricamente por su resistividad aparente, cuyo valor no es constante en el tiempo y depende de los siguientes factores:

2.2.1.1.1 La naturaleza del suelo

Los terrenos presentan diferentes resistividades debido a su composición, el valor de la resistividad

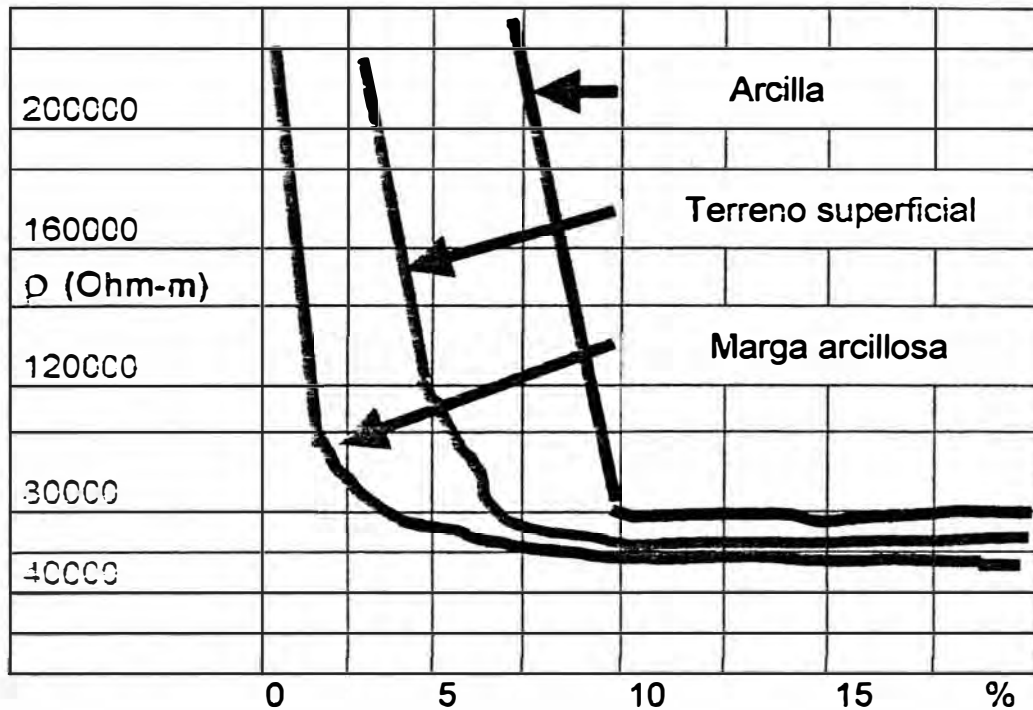
puede variar en forma notable, tal como lo muestra la tabla que se presenta líneas abajo. Se puede ver que a medida que un terreno es más compacto y antiguo, su resistividad es mayor. La resistividad del agua (de mar o de río), es similar a la de los terrenos buenos. Los suelos de grano grueso, son peores que los suelos de grano fino.

Ver Tabla 01 y 02 en el apéndice A

2.2.1.1.2 La humedad

La humedad del terreno está relacionada directamente con la resistividad del terreno, al aumentar el % de humedad en el terreno, la resistividad disminuye haciéndose más conductor el terreno.

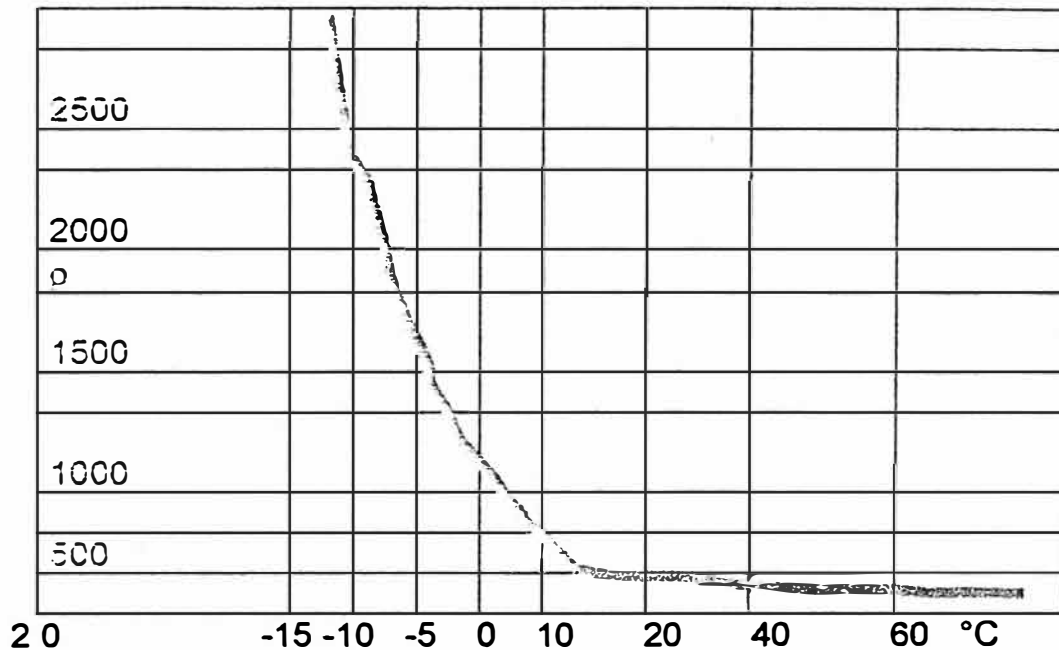
La humedad facilita la disociación de las sales en el terreno, cuyos componentes se encargan de conducir la corriente eléctrica en el mismo. Al aumentar la humedad, hay mayores posibilidades de disociación y una mayor movilidad de estos elementos en el terreno. La relación entre humedad y resistividad se puede ver en el siguiente gráfico.



Efecto de la humedad del terreno y la resistividad

2.2.1.1.3 La temperatura

La resistividad de un terreno es afectada por las temperaturas bajas, especialmente para temperaturas por debajo de los 0°C, ya que el agua se congela, evitando la disociación de las sales y el movimiento de los electrolitos.

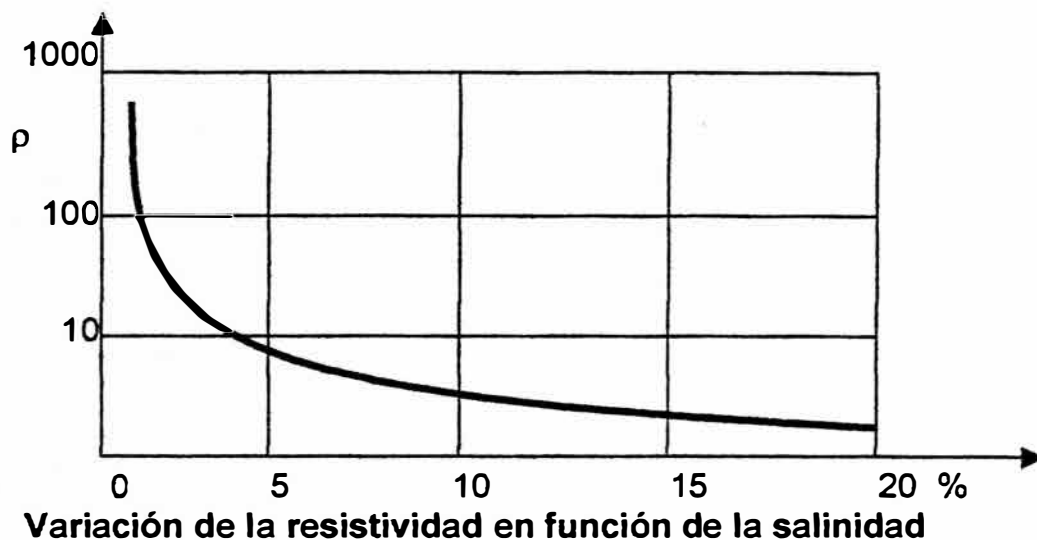


Variación de la resistividad y la temperatura del terreno

La resistividad del terreno en caso de temperaturas muy bajas es directamente proporcional con la temperatura ambiente, pero también depende de la profundidad a la que se mide y el período de tiempo que están expuestos a esas temperaturas.

2.2.1.1.4 La salinidad del terreno

La presencia de sales en el terreno disminuye considerablemente la resistividad del terreno, tal como lo muestra el gráfico siguiente, en donde se ve claramente la variación de la resistividad del terreno en función del porcentaje de sales presente.



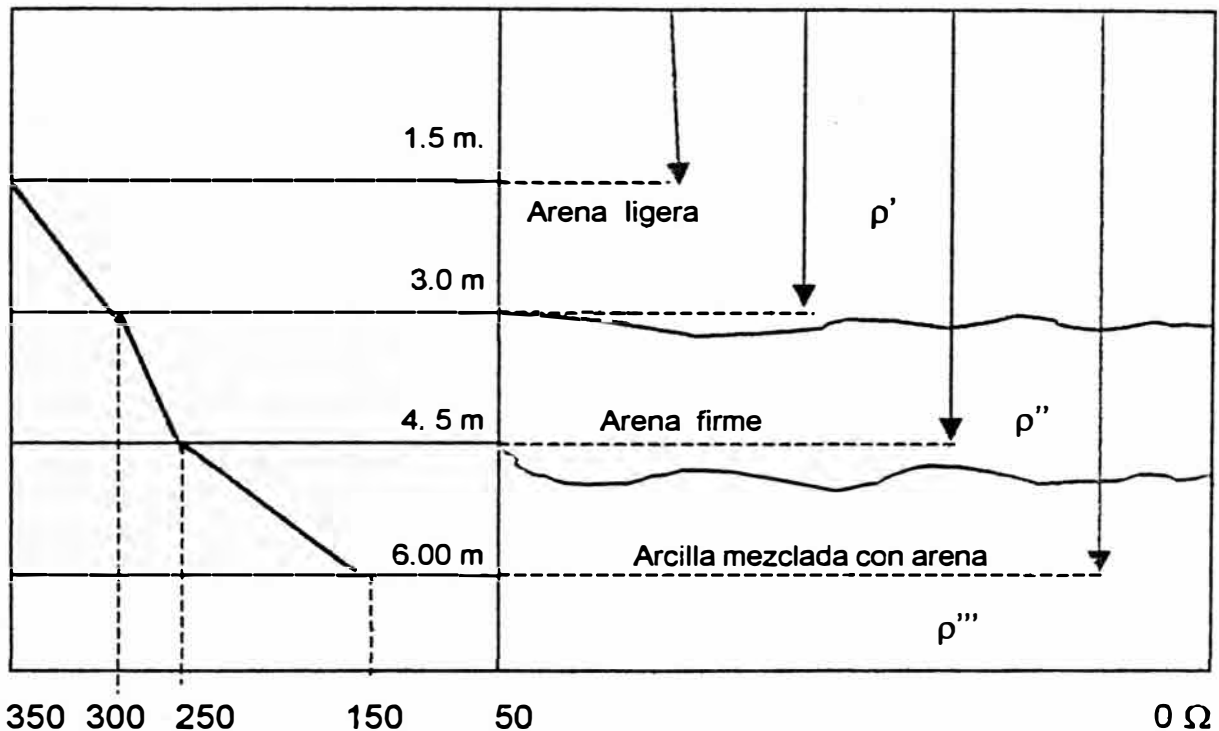
2.2.1.1.5 Los estratos que presenta el suelo

Los electrodos de la puesta a tierra se introducen en el terreno a mayor o menor profundidad dependiendo de las características del terreno y de la forma que se ha planteado el sistema de tierra.

Al atravesar el terreno se suele encontrar capas de diferente naturaleza con resistividades diferentes, con mayor o menor influencia en la resistividad media del terreno y por lo tanto afectaran la eficiencia del sistema de conexión a tierra.

En el siguiente esquema, se aprecia la variación de la resistividad a medida que vamos penetrando en capas de diferente resistividad.

Nivel de piso terminado



VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD

Al introducir las dos primeras picas, el descenso de la resistencia de puesta a tierra es uniforme, pues se trata del mismo estrato de terreno. La tercera pica alcanza un estrato de terreno formado con arena fina, de mayor resistividad, por lo que se produce una variación negativa del descenso del valor de la resistencia. La cuarta pica alcanza un terreno arcilloso produciendo un descenso notable en el valor de la resistencia.

Existen otros factores que afectan la resistividad del terreno, como son las variaciones de las estaciones que producen fuertes cambios climatológicos, o fenómenos de carácter eléctrico, sin embargo los factores mencionados en los incisos anteriores son aquellos que más inciden en las propiedades eléctricas del terreno.

2.2.2 Los electrodos

Los electrodos son los elementos de la conexión a tierra encargados de introducir en el terreno; las corrientes de falla o de descarga atmosférica. Se definen como toda masa metálica, que introducida en el terreno y en permanente

contacto con él, facilita el paso a tierra de cualquier carga eléctrica.

Con la conexión a tierra se pretende que el electrodo este a potencial "0" (cero), el hecho que el electrodo deba tener siempre este potencial, es la razón por la que la resistencia eléctrica existente entre el electrodo y el terreno, se le denomine "Resistencia de puesta a tierra o resistencia de paso a tierra".

Existen muchos tipos de electrodos, aunque lo más importante es que la resistencia de paso a tierra sea, en todo momento, la menor posible. Los electrodos más utilizados son: cables, placas, picas, pilares, armaduras metálicas, etc. se denomina electrodos artificiales.

Estos electrodos, introducidos en un terreno con mayor o menor grado de humedad, están sometidos a los efectos de la corrosión, lo cual puede responder a diferentes causas, entre ellas se destacan:

- La reacción química del electrodo en el agua y en el terreno.
- Ataque de los agentes químicos del terreno.
- Corrientes eléctricas vagabundas.
- Corrientes galvánicas.

Estos fenómenos pueden llegar a corroer y destruir las piezas metálicas introducidas en el terreno. Estas corrientes se originan por interacción entre las armaduras metálicas de los edificios, las tuberías de agua y las cimentaciones de concreto armado. Para protegerlos de la agresión electroquímica conviene conocer que electrolitos se encuentran en el terreno, así como su interacción con los diferentes metales utilizados para la fabricación de los electrodos.

Los materiales empleados para la fabricación de electrodos son el cobre y el acero galvanizado.

- El cobre es el más utilizado por su alta conductividad y resistencia a la corrosión, a excepción de su uso en suelos alcalinos o medios amoniacales.
- El acero galvanizado es usado por su relativo bajo costo y su resistencia a la corrosión, sin embargo su conductividad es menor que la del cobre y los costos de manufactura eliminan las ventajas comparativas algunas veces.

2.2.2.1 Tipos de electrodos

Existen cuatro tipos de electrodos utilizados en las tomas de tierra:

2.2.2.1 Jabalinas

2.2.2.2 Placas

2.2.2.3 Conductores enterrados

2.2.2.4 Anillos y mallas.

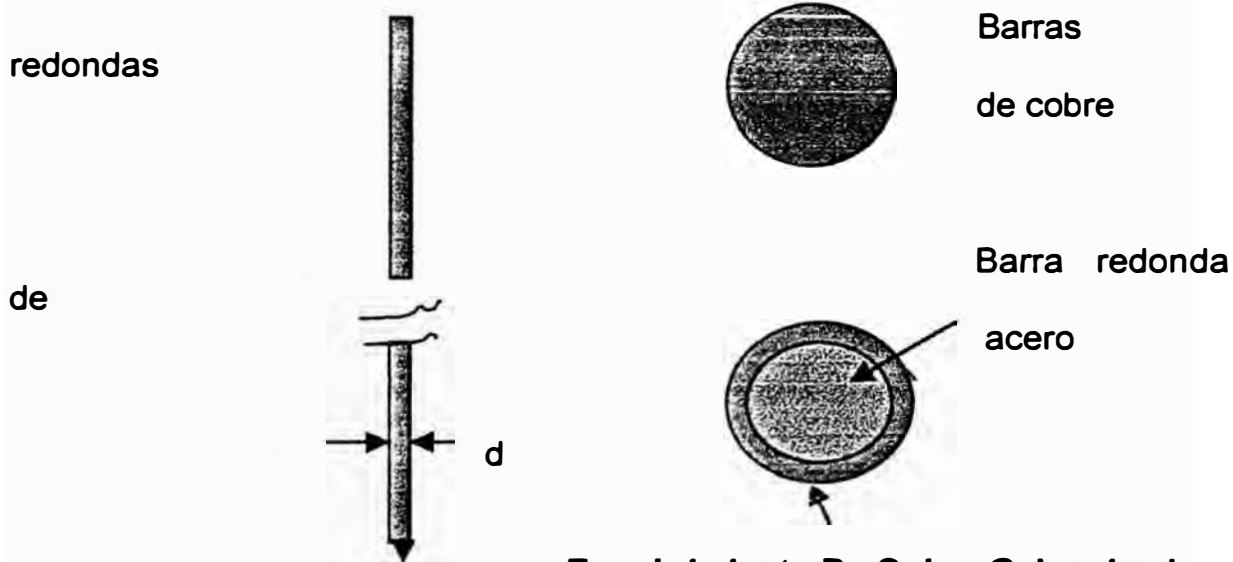
2.2.2.1 Las jabalinas

Son electrodos alargados que se introducen en el terreno en forma vertical. El material usado en su fabricación puede ser:

- Barras redondas de cobre o acero recubierto con cobre (19 mm ó $\frac{3}{4}$ " de diámetro exterior como mínimo).
- Barras redondas de acero galvanizado (25 mm ó 1" de diámetro exterior como mínimo).
- Perfiles de acero galvanizado, ángulos, tees ó crucetas (60 mm ó $2\frac{1}{2}$ " de lado).

Siendo las primeras, las picas más utilizadas en nuestro país. Su longitud debe ser no menor de 2 metros, y el valor de la resistencia de la conexión a tierra es directamente proporcional a la resistividad e inversamente proporcional a la longitud del electrodo. La figura siguiente muestra una pica o electrodo de este tipo.

JABALINAS CILÍNDRICAS DE COBRE Y ACERO COBREADO



La resistencia de la conexión a tierra se puede calcular mediante la siguiente

expresión:

$$R = \frac{\rho_a}{L}$$

Donde:

R = Resistencia de la conexión a tierra, en Ohms.

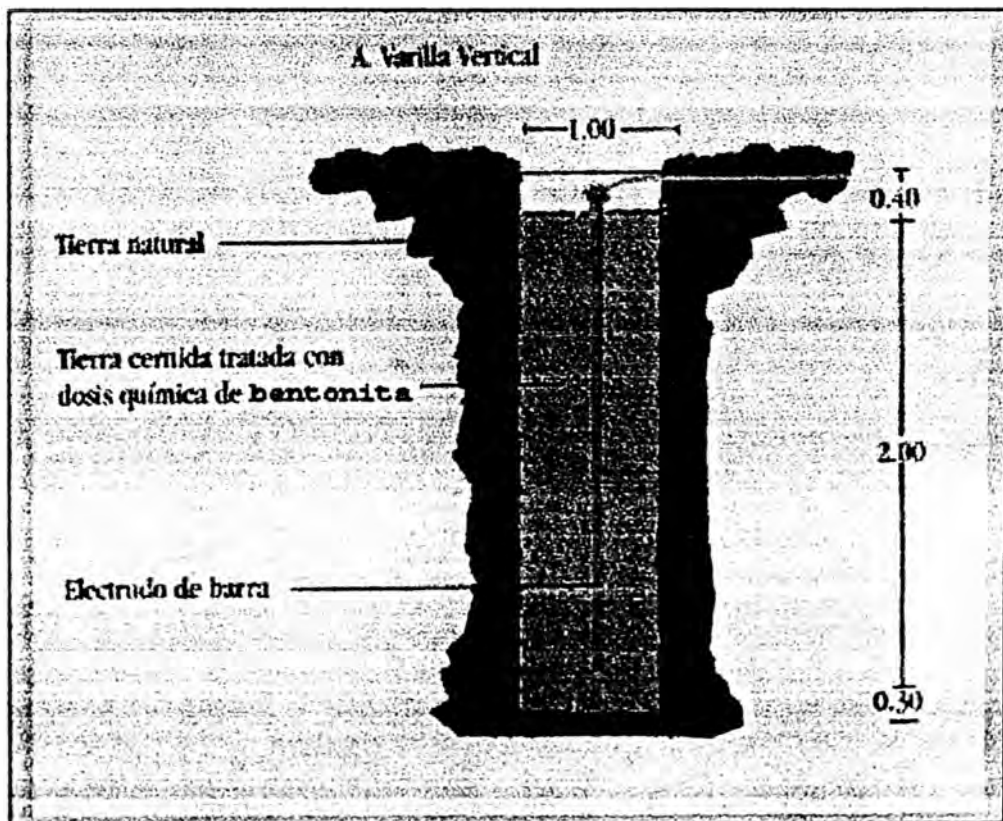
ρ_a = Resistividad aparente del terreno, en Ohms-m.

L = Longitud del electrodo, en m.

Las picas más usadas en nuestro medio están construidas con alma de acero y recubiertas de cobre; la sección mínima es de 19 mm (3/4") y el recubrimiento de cobre tiene un espesor variable que puede llegar a ser de 2 mm. Este tipo de pica es

construido con ambos materiales para aprovechar la gran conductividad del cobre y la resistencia mecánica del acero, de manera que se obtengan propiedades que no se conseguirían de forma económica, si se construyera la pica con uno de ellos solamente. El cobre se aplica en el acero por medios mecánicos o por medio de un sistema de fusión molecular entre él y el acero, de esta forma se disminuye la resistencia de contacto entre ambos materiales.

En nuestro país se suele acondicionar una sección especial del terreno y colocar la jabalina tal como se puede ver en la siguiente figura.



La Jabalina colocada verticalmente en el pozo de tierra, se observa que el pozo tiene la forma cuadrada, donde la tierra ya ha sido compactada.

La colocación de las picas se puede realizar de dos formas, la primera es colocar picas en profundidad hasta ubicar el estrato de menor resistividad y la segunda colocarlas en paralelo a nivel del piso.

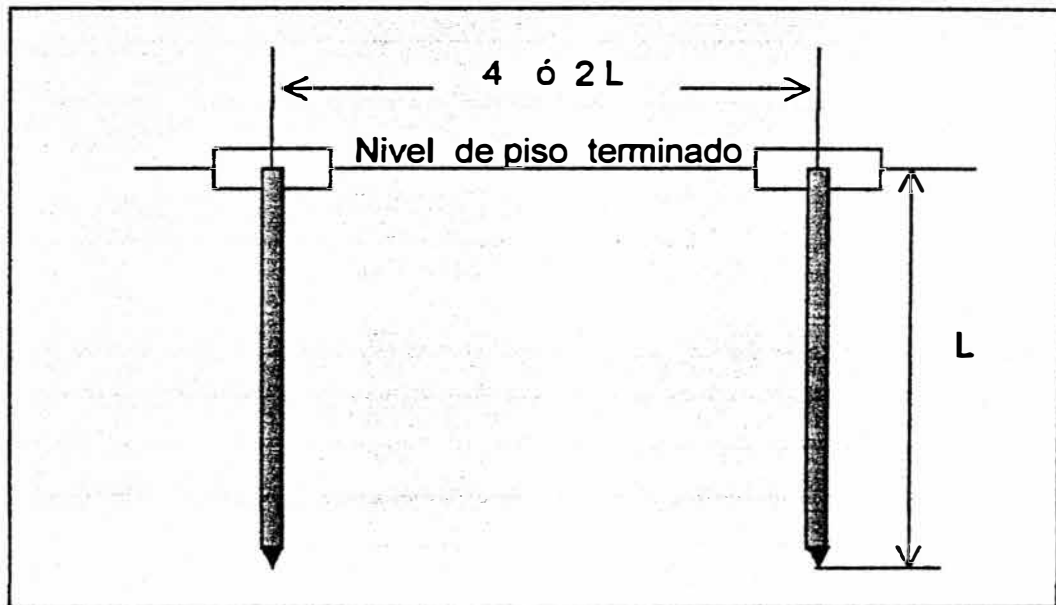
2.2.2.1.1 Colocación de las jabalinas en paralelo

La colocación de picas simples o en paralelo es la más usada en nuestro país, y es la forma recomendada para la conexión a tierra en viviendas o edificios destinados a vivienda. La figura líneas abajo muestra la forma de colocación de las jabalinas.

Este sistema tiene la ventaja que es fácil de instalar y no requiere de maquinaria especial.

Una vez introducida la primera pica en el terreno se mide la resistencia de paso a tierra con el telurómetro (véase medición de la puesta a tierra) y nos da una idea de la magnitud de resistencia de paso a tierra que conseguiríamos. Con el valor obtenido para la primera jabalina, se calculará el

número aproximado de jabalinas conectadas en paralelo necesarias para alcanzar el valor requerido de resistencia de paso a tierra.



COLOCACIÓN DE LAS JABALINAS EN PARALELO

La resistencia resultante se puede aproximar mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 \text{2. jabalinas} \dots\dots\dots R_t &\approx \frac{R_1}{2} \\
 \text{3. jabalinas} \dots\dots\dots R_t &\approx \frac{R_1}{3} \\
 \text{4. jabalinas} \dots\dots\dots R_t &\approx \frac{R_1}{4}
 \end{aligned}$$

Donde:

R_1 = Resistencia de la conexión a tierra de una jabalina, en Ohmios.

En general se recomienda que las jabalinas se coloquen a una distancia mínima de 2 veces la

longitud de la jabalina y que sean unidas mediante un alambre de cobre desnudo de 35 mm² (Calibre AWG N° 2). El uso de accesorios especiales, tales como los bornes simples y/o dobles, permiten garantizar una resistencia de contacto mínima.

El uso de soldadura de plata es recomendable para asegurar el contacto entre las jabalinas y el alambre de interconexión, cuando las facilidades de mantenimiento sean limitadas y se desea conseguir una resistencia de contacto muy baja.

Ver Tablas 03, 04, 05, 06 del apéndice A

2.2.2.1.2 Las Placas

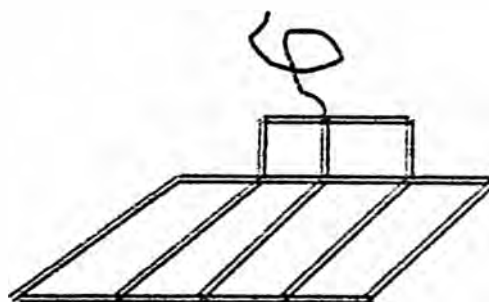
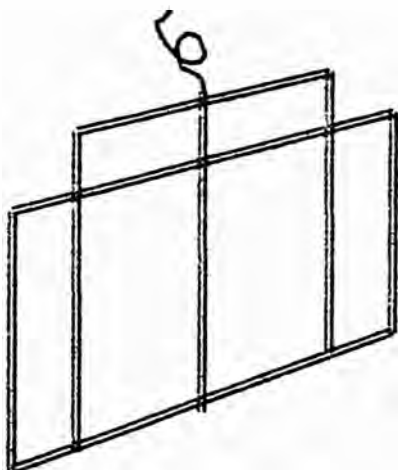
Son electrodos de forma rectangular que ofrecen una gran superficie de contacto con el terreno, en relación con su espesor. En nuestro país, no se suele utilizar este tipo de electrodo.

2.2.2.1.2.1 Electrodo tipo placa

Las placas suelen ser de cobre o hierro galvanizado, y su superficie útil no debe ser menor de 0,2 m² en contacto con la tierra, en

general se recomienda usar un área de 0,5 m².

El espesor de la placa no debe ser menor de 6 mm en el caso de acero galvanizado y 1,5 mm en el caso de placas de Cobre.



La resistencia a tierra de estas placas es proporcional a la resistividad del terreno, e inversamente proporcional al perímetro de la placa, tal como se ve en la siguiente expresión:

$$R = 0,8 * \frac{\rho_a}{P}$$

Donde:

R = Resistencia de paso a tierra, en Ohmios.

ρ_a = Resistividad aparente del terreno, en Ohmios-metro.

P = Perímetro de la placa, en metros.

Las placas rectangulares más usadas tienen las siguientes dimensiones 0,5 x 1,0 m y 1 x 1 m.

2.2.2.1.3 Los conductores enterrados

Este tipo de electrodos pueden ser cables desnudos o platinas de cobre enterrados horizontalmente debajo de las cimentaciones de los edificios o en forma similar a una jabalina dispuesta horizontalmente.

Los materiales que pueden ser utilizados como electrodos son los siguientes:

- Conductores alambrados de cobre desnudo cuya sección mínima es 35 mm²
- Platinas de cobre de 3 x 20 mm.

La longitud mínima es 6 m. También se puede utilizar cables o platinas de acero galvanizado cuyas dimensiones deben ser mayores que sus equivalentes de cobre, sin embargo su duración es mucho menor. La resistencia de la conexión a tierra de este tipo de electrodos se puede aproximar mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho_a}{L}$$

Donde:

R = Resistencia de la conexión a tierra, en Ohms.

ρ_a = Resistividad aparente del terreno, en Ohms-m.

L = Longitud del cable o platina, en m.

Estos electrodos se instalan en la cimentación de la vivienda o edificio a una profundidad mínima de 0,75 m cuando se instalan conductores paralelos, la distancia mínima entre ellos será 5 m.

2.2.2.1.4 La malla

El electrodo más eficiente esta formado por varios conductores unidos entre sí formando una malla, cuya resistencia se puede aproximar mediante la expresión de Laurent.

$$R = \frac{\rho_a}{4 \sqrt{\frac{S_m}{\pi}}} + \frac{\rho_a}{L}$$

Donde:

R = Resistencia de la conexión a tierra, en Ohms.

ρ_a = Resistividad aparente del terreno, en Ohms-
m.

S_m = Area promedio cubierta por la malla, en m².

L = Longitud del conductor utilizado, en m.

Una forma de crear una malla con conexión o puesta a tierra de alta eficiencia, es aprovechar la estructura y cimentación del edificio, las bases de las columnas están enterradas a cierta profundidad y pueden considerarse como electrodos de puesta a tierra. El concreto de las columnas no modifica, sensiblemente, el valor de su resistencia.

Al unir entre si las columnas por medio de conductores enterrados horizontalmente se construye "una malla con conexión a tierra". Los conductores se sueldan a las varillas que componen la armadura de las columnas de concreto, a una profundidad de por lo menos 0,5 m por debajo de la superficie original del terreno.

La conexión a tierra por el sistema de malla tiene la ventaja de poder ser utilizada desde el principio de la construcción de los edificios, para poner a tierra la maquinaria auxiliar de la construcción.

2.2.3 Línea principal de tierra

Es la parte comprendida desde el pozo de tierra hasta el tablero general del sistema eléctrico, donde comienza la línea secundaria de tierra.

En caso de existir varios pozos de tierra, de cada uno parte una de estas líneas, por lo que un edificio de viviendas u oficinas se tendrán las siguientes:

- Línea principal del tablero general.
- Línea principal de la centralización de medidores, si es que la hubiere.
- Línea principal de ascensores y montacargas.
- Línea principal de tierra de otros elementos, como puede ser la conexión a tierra de una red de computadoras.

Los conductores que constituyen la línea principal de tierra son de cobre y su dimensionado, se realiza de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- a. La sección mínima de la línea principal de tierra (S_p) es de 10 mm^2
- b. La sección se determina en función del conductor mayor de la acometida o su equivalente en conductores en paralelo, a partir de la **Tabla 07 del apéndice C**.

2.2.4 Línea secundaria de tierra

La línea secundaria de tierra es una derivación de la línea principal de tierra, enlaza la línea principal con los conductores de protección de la instalación interior. Un ejemplo sencillo de esta línea es la que une la barra de la conexión a tierra del tablero general del edificio con cada uno de los tableros de distribución del edificio, de donde se desdobra en los conductores de protección de cada circuito.

El material que se utiliza para los conductores de esta línea es el cobre. El criterio de selección de la sección mínima necesaria es función de la capacidad nominal del dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito, tal como se muestra en la **Tabla 08 del apéndice C**.

Como norma general, son instalados en la misma canalización de los conductores activos por el recorrido más corto posible y sin cambios bruscos de dirección. No pueden estar sometidos

a esfuerzos mecánicos y se recomienda que estén aislados, en cuyo caso el revestimiento aislante debe ser de color amarillo.

Los empalmes se realizan mediante conectores o accesorios de presión adecuados o mediante soldadura de alto punto de fusión (aluminotérmica), de manera que se asegure que la resistencia de contacto en la unión o en los empalmes sea de un valor muy bajo.

2.2.5 Los conductores de protección

Los conductores de protección constituyen parte de la instalación que une las líneas secundarias de tierra con las masas de una instalación y los elementos metálicos conductores que puedan existir, como carcazas, paneles, alojamientos mecánicos, etc., y cualquier masa significativa que haya en el edificio. También, conectan los pararrayos; así como las antenas de televisión y radio.

Ver Tabla 09 en el Apéndice A

Los conductores de protección son de cobre y su sección depende de la capacidad nominal del dispositivo automático de sobrecorriente ubicado antes del equipo. En general, la sección del conductor de protección no es mayor que la

sección de los conductores del circuito que alimentan al equipo.

Las secciones mínimas recomendadas son 2,5 mm² para conductores con recubrimientos aislantes, como TW o THW y 4 mm² para conductores desnudos. En el caso de los conductores aislados se recomienda que el aislante debe ser de color amarillo, de manera que se pueda diferenciar visualmente de los demás.

La IEC recomienda que el conductor de protección sea de color amarillo con una raya verde a todo lo largo, lo cual puede ser apreciado en la instalación eléctrica de maquinaria de dicha procedencia.

Cuando se realiza la instalación, se recomienda tomar en cuenta lo siguiente:

- Las instalaciones eléctricas con tensiones nominales diferente, deben tener conductores de protección distintos para cada una de las tensiones utilizadas. Por ejemplo, cuando se use sistemas de 110 V para la alimentación de computadoras, la conexión a tierra de este sistema debe ser independiente.

- Se recomienda que los conductores activos y el conductor de protección sean instalados en la misma canalización (tuberías, canaletas o bandejas). En el caso de instalaciones en funcionamiento, los conductores de protección pueden ser instalados separados pero corriendo paralelamente a la instalación existente.
- Las conexiones se realizarán mediante el uso de soldaduras de alto punto de fusión o con dispositivos de empalme por apriete contruidos con material inoxidable que evite su desajuste y que, en caso de unir metales diferente, se eviten los efectos electroquímicos.

2.3 MEDICIONES DE LOS SUELOS Y PUESTA A TIERRA

En este capítulo, se revisará los métodos de medición de la resistencia de puesta a tierra y la resistividad del terreno en donde se a instalado el electrodo de puesta a tierra. En la parte final se presentan recomendaciones sobre los controles que se realizan en una puesta a tierra.

2.3.1 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La medición de la resistencia se puede llevar a cabo mediante dos métodos:

- a. Método de Behrend (Telurómetro)

b. Método del Voltio-amperímetro.

2.3.1.1 Método de Behrend (Telurómetro)

El método de Behrend o de los tres electrodos es internacionalmente aceptado para la medición de la resistencia de puesta a tierra, el telurómetro como se denomina al instrumento de medición que utiliza este principio, está constituido por el circuito mostrado en la **Figura 01 del apéndice B.**

Como se puede ver, requiere de tres puntos de conexión, uno de ellos es el electrodo de la puesta a tierra (E) que se está midiendo y los otros, son 2 electrodos auxiliares denominados sonda de corriente (RH) y sonda de tensión (Rs). El instrumento inyecta una corriente entre E – RH, y mide la tensión entre E – Rs e internamente mide la resistencia de la puesta a tierra Rt.

Procedimiento de medición

- Desconectar la energía en la instalación y remover la conexión del electrodo de la puesta a tierra (el terminal del pozo a tierra queda completamente libre)

- Clavar las sondas o estacas de corriente a una distancia lo suficientemente grande como para evitar fenómenos de interferencia.
- En general se recomienda que:
 - La distancia (D1) entre la sonda de corriente (RH) y el electrodo de la puesta a tierra (E) debe ser mayor que 10 veces la longitud del electrodo (E). Algunos fabricantes recomiendan una distancia inicial de 30 m.
 - La distancia (D1) entre la sonda de tensión (Rs) y el electrodo de la puesta a tierra (E) debe ser mayor que 5 veces la longitud del electrodo (E). Algunos fabricantes recomiendan una distancia inicial de 18 m.
 - La disposición de las sondas es lineal, algunos fabricantes recomiendan formar un triángulo equilátero entre el electrodo y las sondas. Si el sistema de puesta a tierra está formado por más de un electrodo se adopta una disposición como muestra la **Figura 02 del apéndice B**.

Se aplica la corriente y se lee el valor medido de

R_t en el instrumento.

La mayor parte de los fabricantes recomienda efectuar dos medidas adicionales variando la distancia de los electrodos como se indica en la tabla siguiente:

Si los valores medidos de R_t no difieren de $\pm 5\%$ del valor promedio se acepta como valida la medición. En caso la variación sea muy grande se recomienda aumentar las distancias D_1 y D_2 hasta cumplir la condición mencionada (se debe notar que $D_2 = 0,6 D_1$).

Distancia recomendada entre los electrodos (m)		
Medición	Distancia E – RH (D1)	Distancia E – Rs (D2)
1	30	18
2	20	12
3	16	9,6

2.3.1.2 Método del Voltio-amperímetro

Este método es usado cuando se carece de un telurómetro, debe ser llevado a cabo por personal calificado y requiere de los siguientes componentes:

- Un Transformador variable o VARIAC para regular la tensión.

- Un Transformador aislador con relación 1 : 1
- Un Amperímetro de baja resistencia.
- Un Voltímetro de alta impedancia de entrada ($R > 10$ kOhm a 40 kOhm)
- Dos electrodos auxiliares.

Los cuales se conectarán como se muestra en la **Figura 03 del apéndice B**.

Procedimiento de medición:

- Se conectan los componentes del circuito de acuerdo a lo especificado en la gráfica anterior, poniendo especial cuidado en la colocación de los electrodos auxiliares.

Se verifica que el voltímetro no indique tensión, antes de hacer circular la corriente de prueba, en caso contrario significaría que en el terreno existen otras corrientes de dispersión independientes del circuito en prueba.

- Se alimenta con tensión variable hasta obtener un valor estable de corriente y voltaje en los instrumentos. Y se evalúa la resistencia de tierra mediante la siguiente expresión.

$$R_t = \frac{V}{I}$$

- Tener en cuenta las recomendaciones del método anterior.

2.3.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del terreno se mide mediante el método de Wenner o de los cuatro electrodos. Este método consiste en clavar 4 electrodos igualmente espaciados y en línea recta. El aparato de medida inyecta una corriente entre los electrodos externos y mide una caída de tensión entre los electrodos internos. Ver Fig. 04 Apéndice B

La resistencia específica del suelo se obtiene de la siguiente expresión:

$$\rho_a = 2.\pi.D.R$$

Donde:

ρ_a : Resistencia específica del suelo, en Ω -m

D : Distancia entre las estacas auxiliares, en m.

R : Resistencia medida, en Ω .

Procedimiento de medida:

- Se clavan las estacas en línea recta espaciadas una distancia (D) de 20 m.
- Se aplica la corriente de medición y se lee el valor de la resistencia medida en la escala del aparato de medición. Algunos telurómetros tienen una escala graduada que permite la lectura directa de la

resistividad, esta capacidad debe ser verificada en las especificaciones técnicas del aparato de medición.

- Se recomienda repetir este proceso para diferentes distancias, tal como se indican en la siguiente tabla:

Distancia entre estacas (metros)	
Medida	D (m)
1	20
2	10
3	5
4	2
5	1
6	0,5

La resistividad específica del suelo se obtiene al calcular la media de los valores obtenidos. En el caso de suelos heterogéneos, se recomienda realizar 2 juegos de medidas en sentidos mutuamente transversales. La presencia de tuberías y cables de distribución eléctrica enterrados en las cercanías de los puntos de medida pueden falsear los resultados por lo que se recomienda seleccionar cuidadosamente el área de trabajo.

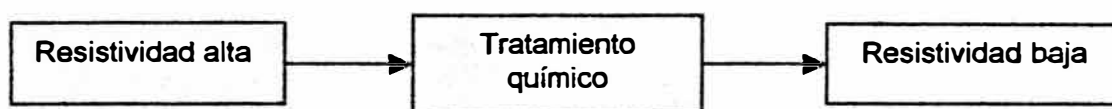
Se recomienda construir la tabla tomando por lo menos tres medidas en cada punto.

2.3.3 TRATAMIENTO QUIMICO DEL SUELO

Los sistemas de aterramiento dependen de la compenetrabilidad y resistividad del suelo, si físicamente esta definido la única manera de disminuir su resistividad eléctrica es alterando las propiedades del suelo para lo cual se utiliza un tratamiento químico. Un tratamiento químico debe ser usado cuando:

No existe otra alternativa posible dentro de las condiciones del sistema, por la dificultad del local o por que presenta una resistividad alta.

La resistividad del sistema de aterramiento no es buena y es muy alterable.



Los materiales a utilizarse en un buen tratamiento químico del suelo deben tener las siguientes características:

- No corrosivo.
- Baja resistividad eléctrica.
- Químicamente estable.
- No debe ser tóxico.
- NO debe causar daño a la naturaleza.
- Sin óxidos de aluminio y silicio (tienen alta resistencia)
- Buena característica higroscópica.
- No lixiviable.

2.3.3.1 Tipos de tratamiento químico

Según su importancia presentamos los siguientes:

2.3.3.1.1 Bentonita

Es un material arcilloso que tiene excelentes propiedades que a continuación presentamos:

- Absorbe fácilmente el agua.
- Retiene la humedad.
- Buena conductora de la electricidad.
- Muy baja resistividad (1.2 a 4 Ω - m).
- No es corrosiva (PH alcalino) y protege al sistema de aterramiento contra la corrosión natural del suelo.
- Tiene los colores: Plomo y amarillo (se recomienda el amarillo).
- No se utiliza pura, se mezcla con tierra de cultivo.

2.3.3.1.2 Earthron

Es un material líquido de lignosulfato (principal componente de la pulpa de madera) mas un agente gelificador y sales inorgánicas sus propiedades se presentan a continuación

- No es soluble en agua.
- No es corrosiva debido a la presencia del Gel.

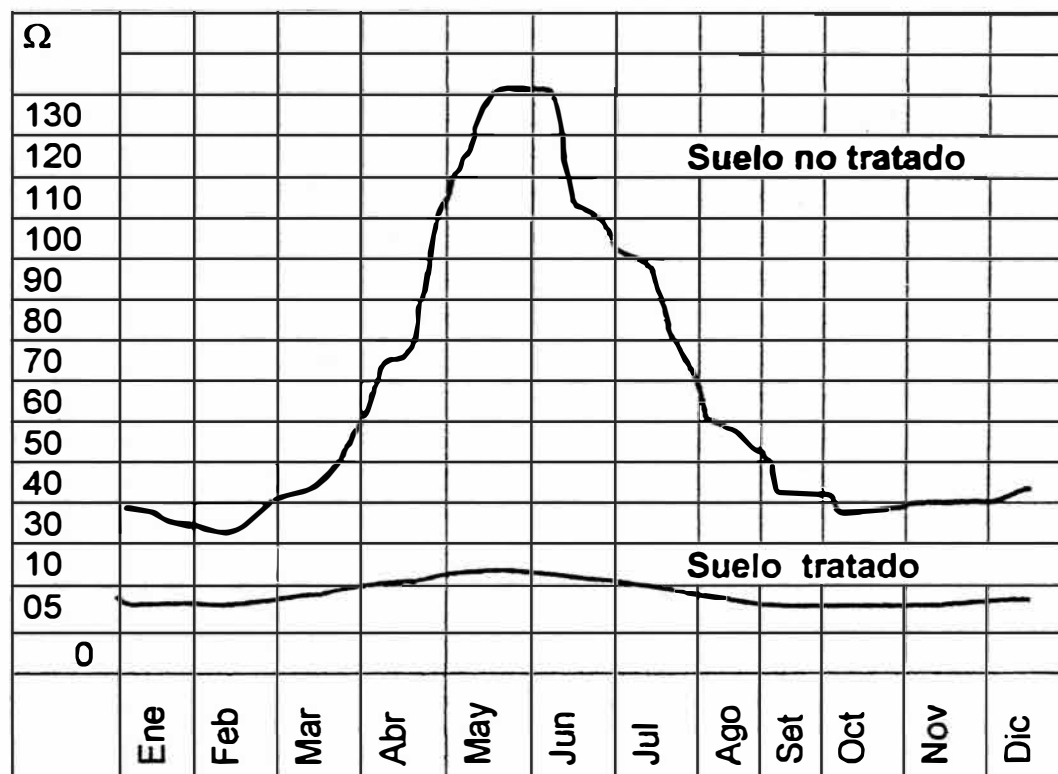
- Su efecto dura un buen tiempo (esta en función del terreno).
- Es de difícil aplicación en los suelos.
- Químicamente estable.
- Retiene la humedad.

2.3.3.1.3 Gel

Esta compuesto por diversas sales, en presencia de agua, forma un agente activo del tratamiento sus propiedades son:

- No es soluble en agua.
- No es corrosiva.
- No es atacado por los ácidos que contienen los suelos.
- Es higroscópico.
- Químicamente estable.
- Retiene la humedad y su efecto es de larga duración.

Nota.- En el capítulo de mantenimiento e instalación se describen los métodos utilizados en la los pozos a tierra.



CAPITULO 03

3. MONITOREO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

A continuación se muestran las mediciones realizadas por el **Departamento Técnico De La Escuela De Comunicaciones**.

Ficha de Mediciones para el Cálculo de la Resistividad del Terreno

Resistencia Medida por el Telurómetro (Rm)

D	12			8			4			2			1			0.5		
01	0.8	0.6	0.7	2.1	1.6	1.5	7.5	6.0	6.2	22.0	20.0	16.0	33.4	30.0	28.0	55.7	50.0	52.0
02	0.7	0.9	1.0	2.0	1.7	1.6	7.0	7.0	6.4	20.0	20.2	18.0	33.2	30.0	27.0	56.0	50.0	54.0
03	0.8	0.7	0.6	1.8	2.0	1.5	7.6	6.0	6.2	21.0	22.0	20.0	30.0	29.0	29.0	57.0	49.0	51.0
04																		
05																		

Ficha de Cálculos de la Resistividad del Terreno Pa

Sabiendo que $P_a = 2 \pi D R_m$

D	12			8			4			2			1			0.5		
01	60.31	45.23	52.77	105.55	80.42	75.39	188.49	150.79	185.82	276.46	251.32	201.06	209.85	188.49	175.92	174.98	157.07	163.36
02	52.77	67.85	75.39	100.53	85.45	80.42	175.92	175.92	160.84	251.32	254.09	226.19	208.60	188.49	169.64	175.92	157.07	169.64
03	60.31	52.77	45.23	90.47	100.53	75.39	191	150.79	155.82	263.89	276.46	251.32	188.49	182.21	182.21	179.07	153.93	160.22
04																		
05																		

La resistividad Promedio:

$P_a = 152.582 \Omega\text{-m}$ Nivel del Piso

CAPITULO 04

4. SELECCIÓN Y DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ATERRAMIENTO DE ACUERDO A NORMAS INTERNACIONALES

Para seleccionar la jabalina, se realizaron de resistividad del terreno (ρ_a), aplicando el Método Wenner, obteniendo los resultados expuestos en la Tabla N° 4.1, los mismos que sirvieron para la determinación de los estratos del terreno y sus respectivas resistividades, de acuerdo con las gráficas Standard y Auxiliar de TAGG, que se muestran en la Fig N° 4.1

MEDICIONES INSITU APLICANDO METODO WENNER						
($\rho_a = 2 \cdot \Pi \cdot D \cdot R$)						
D (m)	0.5	1	2	4	8	12
P_a (Ω-m,)	165.69	188.21	250.23	166.54	88.23	56.95

Tabla N° 4.1

Siendo: D= Distancia entre Picas

P_a = Resistividad Aparente

4.1 DETERMINACION DE LOS ESTRATOS DEL TERRENO

Se obtuvieron los siguientes resultados utilizando las curvas de TAGG, se adjunta gráficos en el apéndice C Ver Fig.

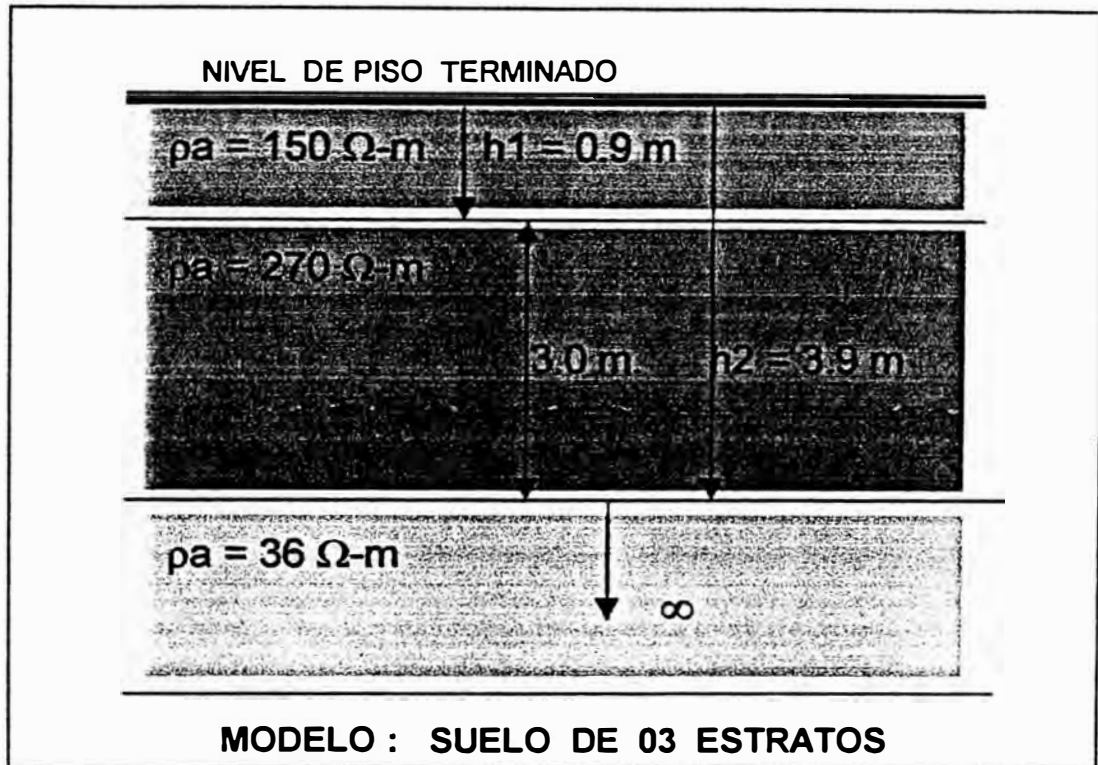


Figura N° 4.1

4.2 CALCULO DE LA RESISTIVIDAD CON UNA JABALINA

Para Jabalinas de longitud $L=2.4 \text{ m}$.

$$\rho_{\text{equiv}} = \frac{L \cdot \rho_I \cdot \rho_{II}}{\rho_{II} h + \rho_I (L - h)} \quad \Omega - \text{m}$$

$$L=2.4 \text{ m.} \quad h=0.9 \text{ m.} \quad \rho_I=150 \Omega - \text{m} \quad \rho_{II}=270 \Omega - \text{m}$$

$$\rho_{\text{equiv}} = \mathbf{207.7 \Omega - m}$$

Siendo: L = Longitud de la Jabalina h = Altura del Estrato I

ρ_I = Resistividad del Estrato I ρ_{II} = Resistividad del Estrato II

4.3 TRATAMIENTO DEL SUELO DEBIDO A LA ALTA RESISTIVIDAD

La resistividad equivalente de los estratos es de 207.7 Ohm-m, esta resulta ser de muy alto valor, lo que hace necesario el tratamiento del suelo, para mejorarlo, lo que se describe a continuación.

- Mejoramiento local de las resistividades por el método de impregnación.
 - ❖ Reducción posible en suelos conglomerados : 35 %
 - ❖ Reducción posible en suelos de tierra fina : 50 %
 - ❖ Reducción promedio : 42 %
- Ampliación de las excavaciones debido a la aplicación de impregnantes:
 - ❖ Dimensiones verticales : 25 %
 - ❖ Dimensiones horizontales : 30 %
- Utilización de rellenos conductores – Mezcla con **BENTONITA**

4.4 PARAMETROS DE DISEÑO DE UN POZO VERTICAL CON JABALINA

4.4.1 Configuración del electrodo de puesta a tierra.

- No se requiere control de potencial para la protección de las tensiones de toque y paso respectivamente por tanto deberá elegirse un electrodo y económico y standard.

- Las altas resistividades de ρ_I y ρ_{II} requieren de electrodos verticales hasta alcanzar ρ_{III} ó en caso contrario utilizar electrodos standart e impregnantes para el tratamiento del suelo.
- Ante la carencia de humedad del exterior se podrá considerar, para el futuro, un mantenimiento por inundación.

POZO VERTICAL		FAC. AMP.	VAL. PROY.	OBSERVACIONES
L_{pozo} (m)	2.5	1.5	3.75	Aumento de 50% por Seguridad
D_{pozo} (m)	1.2	1.5	1.80	Aumento de 50% por Seguridad
$\rho_{\text{equivalente}}$ (Ω -m)	207.7	0.58	120.5	Disminución. del 42% adit.

4.4.2 RESISTENCIA TOTAL DE DISEÑO

La resistencia total de Diseño viene dad por:

$$R_D = R_{\text{jab}} + R_{\text{rell}} + R_{\text{dis}}$$

4.4.2.1 Cálculo de la Resistencia de la Jabalina R_{jab}

La resistencia de la jabalina por comparación de los otros componentes es despreciable.

$$R_{\text{jab}} = 0$$

4.4.2.2 Cálculo de la Resistencia del Relleno R_{rell}

$$R_{\text{rell}} = \frac{\rho_{\text{equivalente}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{pozo}}} \cdot \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right)$$

$$\rho_{\text{equivalente}} = 120.5 \text{ } (\Omega\text{-m})$$

d_{Jab} = Diámetro de Jabalina

$$L_{\text{pozo}} = 3.75 \text{ m}$$

r_1 = Radio del Pozo = 1.2 m.

$$r_0 = L_{\text{pozo}} / \ln(4L_{\text{pozo}}/d_{\text{Jab}})$$

TABLA DE RESULTADOS

Diámetro Jab	1" (0.0254m)	3/4" (0.01905m)	5/8"(0.015875m)	1/2"(0.0127m)
R_{rell} (Ω)	0.1061	0.3317	0.4696	0.6335

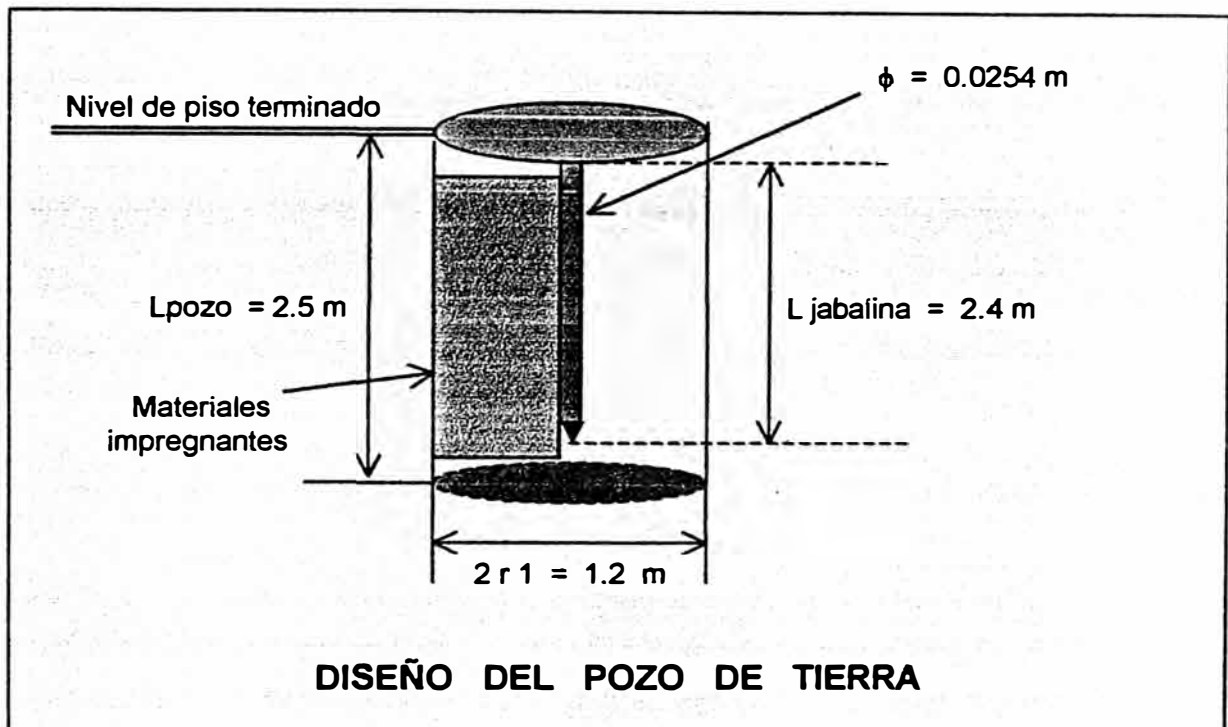
4.4.2.3 Cálculo de la Resistencia del Disipación R_{dis}

$$R_{\text{disp.}} = \frac{\rho_{\text{equiv.}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{pozo}}} \ln \left(\frac{4 \cdot L_{\text{pozo.}}}{1.36 \cdot D_{\text{pozo}}} \right)$$

De los datos anteriores:

TABLA DE RESULTADOS

Diámetro Jab	1" (0.0254m)	3/4" (0.01905m)	5/8"(0.015875m)	1/2"(0.0127m)
R_{dis} (Ω)	9.2710	9.2710	9.2710	9.2710



4.4.3 Tabla Consolidada de Mediciones y Cálculos

Siendo α una constante de reducción debido al paralelismo, y sus fórmulas son:

$$\alpha = \frac{r_0}{D} \quad \text{Siendo } D = 6 \text{ m (Distancia entre electrodos, distancia tomada por limitaciones de terreno)}$$

Sabiendo:

$$R_{2\text{Jab}} = R_{1\text{Jab}} \frac{(1 + \alpha)}{2}$$

$$R_{3\text{Jab}} = R_{1\text{Jab}} \left(\frac{2 + \alpha - 4\alpha^2}{6 - 7\alpha} \right)$$

$$R_{4\text{Jab}} = R_{1\text{Jab}} \left(\frac{12 + 16\alpha - 23\alpha^2}{48 - 40\alpha} \right)$$

D_{Jab}	1" (0.0254m)	3/4" (0.01905m)	5/8" (0.015875m)	1/2" (0.0127m)	OBSERVACIONES
r_0	0.5877	0.5623	0.5474	0.5301	
R_{ref}	0.1061	0.3317	0.4696	0.6335	
R_{dis}	9.2710	9.2710	9.2710	9.2710	
R_{1Jab}	9.3771	9.6027	9.7406	9.9045	
α	0.0979	0.0937	0.0912	0.0883	
R_{2Jab}	5.1478	5.2513	5.3146	5.3898	ELECCION DE LA ECOM
R_{3Jab}	3.6341	3.6991	3.7389	3.7861	
R_{4Jab}	2.8391	2.8856	2.9140	2.9478	

Nota:

La distancia entre Jabalinas será de 6 metros.

4.4.4 SELECCIÓN DE LAS JABALINAS

Debido a las condiciones económicas de la ECOM se seleccionó un Sistema de aterramiento con 2 Jabalinas distanciadas 6 metros.

Esta Resistencia a tierra esta dentro de los requerimientos que la ECOM solicita.

$$R_T < 7 \text{ Ohm}$$

Teniendo en cuenta que el factor de ampliación ha sido tomado un 15% por encima de lo real, por seguridad, y esperando una disminución de aproximada de 20% de la R_T por técnicas de construcción. (Promedio 17.5%)

Sabemos que la R_T que se obtenga en la ejecución dará menor que 5.14 Ohm.

Esperando aproximadamente $4.25 < R_T < 5.14$

4.4.5 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR ENTRE POZOS

$I = 25 \text{ A}$ de Tabla # 8 Apéndice A $S = 4 \text{ mm}^2$

Dimensiones mínimas.

Se elige conductor de cobre AWG #6 para mayor seguridad y por tener en almacén.

CAPITULO 05

5. PROTOCOLO DE PRUEBAS POST-CONSTRUCCION

Las mediciones de prueba de la resistencia a tierra del sistema fueron realizadas por el Dpto. Técnico de ECOM.

La misma que a través de copia original visada y aprobada por el Comando de la ECOM es presentada en este informe.

ESCUELA DE COMUNICACIONES DEL EJERCITO

Departamento Técnico ECOM

Chorrillos, Agosto 1999

Resultados de las Mediciones del Pozo a Tierra de la Sala de Informática:

Telurímetro Utilizado:

Electrónico MTA1000

Marca

MEGABRAS

N° De la Medición	R (Ohm)	Distancia (Metros)
01	3.25	2
02	3.00	4
03	3.50	6
04	3.45	8
05	3.60	10
06	3.65	12
07	3.75	14
08	3.80	16
09	3.95	18
10	3.95	20
11	4.00	22
12	4.10	24
13	4.15	26
14	4.15	28
15	4.25	30
16	4.80	32
17	5.20	34
18	5.25	36
19	5.35	40
20	5.60	44

Se nota claramente de los resultados obtenidos, que el rango de repetición es menor que 4.5 Ohm.

Entonces:

$$R_T = 4.5 \text{ Ohm}$$

Dato que cae dentro del rango esperado.

CAPITULO 06

6. COSTOS

El costo de materiales del proyecto no limita su aplicación, dado que la Escuela de Comunicaciones, no busca retorno de la inversión, sino la utilización de los materiales que se tienen disponibles y la protección de los equipos y operadores.

6.1 Costos de Jabalinas Por Diámetro

Diámetro	1"	5/8"	3/4"	1/2"
Costos	\$ 25.00	\$ 22.00	\$ 20.00	\$ 19.00

6.2 Costo de la Bentonita

Bentonita	Amarilla	Ploma
Costo	\$ 40.00	\$ 35.00

6.3 Registro

Registro	
Costo	\$ 8.00

6.4 Excavación

Excavación	
Costo	\$ 60.00

6.5 Eliminación de Desmante

Eliminación de Desmante	
Costo	\$9.00

6.6 Cable AWG # 6

Cable AWG # 2	
Costo	\$ 2.00

6.7 Soldadura de Plata

Soldadura de Plata	
Costo	\$ 5.00

6.8 Tablero de Concentración de Toma a Tierra

Tablero	
Costo	\$ 9.00

6.9 Alquiler del Telurómetro

Alquiler	
Costo	\$ 80.00

6.10 Tabla Consolidada de Costos

Nº	Cant	Elemento	Descripción	P/Unitario \$	Total \$
01	02	Jabalinas	Varilla de Cobre electrolítico de 1" de diámetro x 2.4 m	25.00	50.00
02	02	Bentonita Amarilla	Bolsa de 5 Kg. Amarilla	40.00	80.00
03	02	Registro	Bóveda de Cemento de 30x30 cms	8.00	16.00
04	01	Cable AWG # 6	Conductor	2.00	2.00
05	02	Electródos de Plata	Soldadura de Plata	5.00	10.00
06	01	Tablero de Concentración	Lámina dde Acero Galvanizado de 10x20 cms.	9.00	9.00
07	02	Excavación	Pozos de 1.2x2.5 m	60.00	120.00
08	02	Eliminación de Desmote	Retirar el Desmote del Lugar	9.00	18.00
09	02	Instalación	Instalación de Equipos	100.00	200.00
10	01	Alquiler del Telurómetro	Alquiler del Instrumento de Medida	80.00	80.00
Sub-Total					US \$ 585.00
IGV					US \$ 105.30
Total					US \$ 690.30

Nota:

La ECOM por contar con personal, realizó ciertas etapas de la construcción disminuyendo sensiblemente el costo.

CONCLUSIONES

1. Se puede observar que en el capítulo 5 la resistencia es de:

$$R_t=4.5 \leq 5.14 \leq 5.16$$

Lo que indica una resistencia, que puede proteger con eficiencia el Sistema.

De requerirse resistencias menores se ha dejado espacio físico para un tercer pozo con las mismas características, para conectarlo al sistema.

2. Cabe mencionar que de ser necesario se podría realizar la construcción de un tercer pozo dispuesto en forma de triángulo equilátero para lograr resistencia a tierra menores, este haría llegar a niveles por debajo de .63 Ohm.
3. De la experiencia en la construcción de los pozos, se observó que la colocación de Bentonita pura en solución acuosa alrededor de la Jabalina y en las paredes del Pozo, mejoró ostensiblemente el pronóstico esperado disminuyendo el diseño hasta en un 15%, debido a que la resistencia de contacto entre el electrodo y el medio que lo rodea mejoró.
4. En este informe no se realizó un estudio de la salinidad del suelo por la falta de recursos económicos.
5. Los factores climatológicos no afectan la resistencia en este caso debido a la estabilidad del clima.

6. La humedad relativa alta de la zona, ayuda a mejorar la conductividad a lo largo del tiempo.

7. Cabe resaltar la importancia de la construcción del pozo y la compactación del terreno, esto mejorará el contacto entre el medio y el electrodo, ganando conductividad.

RECOMENDACIONES

CONSEJOS PARA LA INSTALACIÓN DE ELECTRODOS

Para conseguir una buena resistencia de paso a tierra del electrodo implantado se recomienda lo siguiente:

- No colocar el electrodo muy cerca de los muros, rocas, patios estrechos rodeados de muros, etc., lo cual impedirán la difusión de la corriente de fuga.
- Evitar instalar en las riberas de los ríos ya que por lo general son zonas reblandecidas y con el tiempo pueden llegar al aire los electrodos.
- Para una mayor eficiencia y vida útil de la instalación, el electrodo se deberá instalar debajo de la cimentación del edificio.

- En todas las uniones, empalmes, derivaciones, etc., se recomienda que se realicen con soldadura de plata, o con conectores de cobre untados con grasa silicona conductora.
- Los conductores de protección son de cobre y pueden ser aislados o desnudos

Prohibido utilizar como electrodos

- El neutro de la instalación, aunque a éste le haya dado una tierra “segura” la empresa distribuidora.
- Las tuberías de aire comprimido y gas, incluso en el caso de que formen parte de las instalaciones de propiedad del usuario.

CONSEJOS PRÁCTICOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RESISTENCIA DE PASO A TIERRA.

Para conservar y mantener el valor de la resistencia de paso a tierra, hay que conservar el contacto electrodo – terreno, y sobre todo vigilar la resistividad del terreno.

La resistividad del terreno se ve afectado por muchos factores, principalmente la humedad y la salinidad. En el primer caso, regando

periódicamente los electrodos es suficiente; en el segundo caso, es un poco más complejo. Para aumentar la concentración de sales en el terreno, y por lo tanto disminuir artificialmente la resistividad, hay que tratar un volumen importante de un terreno alrededor del electrodo. Los métodos más utilizados son:

Tratamiento con sales

Es una excavación poco profunda, encima del electrodo, se entierra sal (cloruro de sodio, carbonato de sosa, sulfito de cobre, sulfito de magnesio, etc.) y se riega. La infiltración del agua en el terreno distribuye las sales.

Debido al lavado permanente que hace la lluvia al penetrar al terreno, este tratamiento se debe repetir periódicamente.

Tratamiento con Gel

Este tratamiento consiste en formar dentro del terreno un gel cuyo arrastre por el agua de lluvia es mucho más lento que el de las sales. Para esto se analiza las características técnicas y su preparación de un gel conocido en nuestro mercado.

Características técnicas de un GEL comercial

El Gel comercial es un producto químico que reduce notablemente la resistencia óhmica de las puestas a tierra, garantizándole una estabilidad química, higroscópica y eléctrica por 4 años, sin provocar la corrosión de sus electrodos; ofreciendo con estas características técnicas, una vida media de los electrodos de 20 a 25 años, y para obtener esta eficiencia, solo se requerirá reactivar químicamente la puesta a tierra cada 4 años, mediante la disolución y el riesgo con una dosis química de adicional del Gel comercial.

La eficiencia del producto ha demostrado, que la reducción de la resistencia eléctrica, de las puestas a tierra tratadas químicamente con el Gel comercial, permiten reducir entre un 40% como mínimo a un 95% como máximo, y esta reducción dependerá de la resistividad eléctrica natural del terreno; a mayor resistividad eléctrica, mayor será la reducción de la resistencia; además de otras consideraciones como el área de contacto de los electrodos, el reemplazo de la tierra de los pozos y zanjas, por tierra agrícola de menor resistividad eléctrica.

Esta técnica ha demostrado extraordinarios resultados en terrenos donde las resistencias óhmicas de las puestas a tierra a obtenerse eran del orden de los 3 a 5 Ohm/m., y que por factores de alta resistividad, eran imposibles de ser obtenidas sin la corrosión provocada por el método tradicional de sal común y carbón vegetal.

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN QUÍMICA DEL GEL COMERCIAL

- Disolver bien el contenido de la bolsa blanca/amarilla, en un balde plástico con 20 litros de agua normal, y la solución obtenida se verterá sobre el nivel superficial cóncavo del pozo o de la zanja, esperando su total absorción en el terreno.
- Disolver bien el contenido de la bolsa azul en el mismo balde (previamente enjuagado) con 20 litros de agua normal, y la solución obtenida se verterá sobre el mismo nivel cóncavo del pozo o de la zanja, esperando su total absorción en el terreno.
- Para finalizar el tratamiento químico, se verterán 20 litros de agua sola normal sobre el nivel cóncavo del pozo o de la zanja, para facilitar la penetración.

TRATAMIENTO POR ABCNADO ELECTROLÍTICO DEL TERRENO

El procedimiento consiste en aumentar la cantidad de electrolitos dentro del terreno utilizando sulfato de calcio, que tiene una pequeña solubilidad, pero pequeñas cantidades disminuyen drásticamente la resistividad del terreno.

BIBLIOGRAFIA

1. J. Zaborszky. Efficiency of grounding grids with nonuniform soil. AIEE Transaction, december, 1955. pp.1230 – 1233.
2. E. D. Sunde. Earth Conduction Effects in Transmission Systems. Dover Publications, Inc., New York, 1968.
3. F. Dawalibi and D. Mukhedkar. Resistance calculation of interconnected grounding electrodes. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, january/february, 1977. Vol. PAS-96, n.1, pp.59 –65.
4. R. J. Heppe, Step potentials and body currents near grounds in two-layer earth. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, January/february, 1979. Vol. PAS-98, n.1, pp.45 –59.
5. F. Dawalibi and D. Mukhedkar. Transferred earth potentials in power systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, January/february, 1979. Vol. PAS-97, n.1, pp.90 –101.

APENDICE

APENDICE A

Tablas

Materiales	Resistividad (Ω -m)
Sal gema	10
Cuarzo	10
Arenisca, guijarros de río, piedra triturada	10
Granitos compactos	10 - 10
Rocas compactas, cemento ordinario, esquistos	10
Carbón	10 - 10
Rocas madres, basaltos, cascajos y granitos antiguos	10
Guijarros de río y piedra triturada húmedos	5000
Terrenos rocosos, calizos secos	3000
Granitos antiguos	1500 - 2000
Yeso seco	1000
Arena fina y guijarros (secos)	1000
Grava y arena gruesa	100 - 1000
Arena arcillosa, grava y arena gruesa húmeda	500
Suelos calcáreos y rocas aluvionarias	300 - 400
Tierra arenosa con humedad	200
Barro arenoso	150
Margas, humus muy secos	100
Margas y humus secos	50
Arcillas (secas)	30
Margas, arcillas y humus húmedos	10
Arcillas ferrosas	10
Esquistos grafiticos (húmedos y secos)	< 5
Agua de mar	1
Soluciones salinas	0,1 - 0,001
Minerales conductores	0,01
Grafitos	0,0001

Tabla N° 01

Naturaleza del terreno	Resistividad (Ω-m)
Terrenos pantanosos	< 30
Limo	20 – 100
Humus	10 – 150
Turba húmeda	5 – 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 – 200
Arena arcillosa	50 – 500
Arena silicea	200 – 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 – 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 – 3000
Calizas blandas	100 – 300
Calizas compactas	1000 – 5000
Calizas agrietadas	500 – 1000
Pizarras	50 – 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos de gres procedentes de alteración	1500 – 10000
Granitos y gres muy alterados	100 – 600

Tabla Nº 02

El conocimiento de la resistividad del terreno es fundamental para el diseño de una puesta a tierra eficiente, por lo que se sugiere siempre evaluar o medir con anticipación este parámetro.

**TABLAS DE JABALINAS EN PARALELO ALINEADAS E IGUALMENTE
ESPACIADAS**

L = 2.4 m d = 1" R₀₁ jabalina = 0.397 ρ_a								
a	2 m		3m		4m		5m	
#	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K
2	0.225 ρ _a	0.572	0.221 ρ _a	0.562	0.216 ρ _a	0.548	0.212 ρ _a	0.539
3	0.163 ρ _a	0.414	0.158 ρ _a	0.403	0.152 ρ _a	0.387	0.148 ρ _a	0.377
4	0.130 ρ _a	0.330	0.125 ρ _a	0.318	0.119 ρ _a	0.302	0.115 ρ _a	0.292
5	0.109 ρ _a	0.276	0.104 ρ _a	0.265	0.098 ρ _a	0.250	0.095 ρ _a	0.240
6	0.094 ρ _a	0.233	0.090 ρ _a	0.228	0.084 ρ _a	0.214	0.081 ρ _a	0.205
7	0.083 ρ _a	0.211	0.079 ρ _a	0.201	0.074 ρ _a	0.187	0.070 ρ _a	0.179
8	0.074 ρ _a	0.189	0.071 ρ _a	0.180	0.066 ρ _a	0.167	0.063 ρ _a	0.159
9	0.068 ρ _a	0.172	0.064 ρ _a	0.163	0.059 ρ _a	0.151	0.056 ρ _a	0.143
10	0.062 ρ _a	0.158	0.059 ρ _a	0.149	0.054 ρ _a	0.138	0.051 ρ _a	0.130
11	0.058 ρ _a	0.146	0.054 ρ _a	0.138	0.050 ρ _a	0.127	0.047 ρ _a	0.120
12	0.054 ρ _a	0.136	0.050 ρ _a	0.128	0.046 ρ _a	0.118	0.044 ρ _a	0.111
13	0.050 ρ _a	0.128	0.047 ρ _a	0.120	0.043 ρ _a	0.110	0.041 ρ _a	0.103
14	0.047 ρ _a	0.120	0.044 ρ _a	0.113	0.040 ρ _a	0.103	0.038 ρ _a	0.097
15	0.045 ρ _a	0.113	0.042 ρ _a	0.106	0.038 ρ _a	0.097	0.036 ρ _a	0.091

Tabla N° 03

L = 2.4 m d = ¾ " R 01 jabalina = 0.413 ρ a								
a	2 m		3 m		4 m		5 m	
#	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K
2	0.235 ρa	0.568	0.231 ρa	0.559	0.225 ρa	0.546	0.222 ρa	0.537
3	0.169 ρa	0.410	0.165 ρa	0.399	0.159 ρa	0.384	0.155 ρa	0.375
4	0.134 ρa	0.326	0.139 ρa	0.315	0.124 ρa	0.300	0.120 ρa	0.290
5	0.112 ρa	0.272	0.108 ρa	0.262	0.102 ρa	0.247	0.098 ρa	0.238
6	0.097 ρa	0.235	0.093 ρa	0.225	0.087 ρa	0.211	0.084 ρa	0.203
7	0.086 ρa	0.208	0.082 ρa	0.198	0.076 ρa	0.185	0.073 ρa	0.177
8	0.077 ρa	0.186	0.073 ρa	0.177	0.068 ρa	0.165	0.065 ρa	0.157
9	0.070 ρa	0.169	0.066 ρa	0.160	0.061 ρa	0.149	0.058 ρa	0.142
10	0.064 ρa	0.155	0.061 ρa	0.147	0.056 ρa	0.136	0.053 ρa	0.129
11	0.059 ρa	0.144	0.056 ρa	0.136	0.052 ρa	0.125	0.049 ρa	0.119
12	0.055 ρa	0.134	0.052 ρa	0.126	0.048 ρa	0.116	0.045 ρa	0.110
13	0.052 ρa	0.125	0.049 ρa	0.118	0.045 ρa	0.108	0.042 ρa	0.102
14	0.049 ρa	0.118	0.046 ρa	0.111	0.042 ρa	0.101	0.039 ρa	0.096
15	0.046 ρa	0.111	0.043 ρa	0.104	0.039 ρa	0.096	0.037 ρa	0.090

Tabla N° 04

L = 2.4 m d = 5/8 " R 01 jabalina = 0.425 ρ a								
a	2 m		3m		4m		5m	
#	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)		Req (Ω)	
2	0.241 ρa	0.566	0.237 ρa	0.557	0.231 ρa	0.544	0.223 ρa	0.536
3	0.173 ρa	0.408	0.169 ρa	0.397	0.163 ρa	0.383	0.159 ρa	0.374
4	0.137 ρa	0.324	0.133 ρa	0.313	0.127 ρa	0.298	0.123 ρa	0.289
5	0.115 ρa	0.270	0.110 ρa	0.260	0.105 ρa	0.246	0.101 ρa	0.237
6	0.099 ρa	0.233	0.095 ρa	0.223	0.089 ρa	0.210	0.086 ρa	0.202
7	0.087 ρa	0.206	0.083 ρa	0.196	0.073 ρa	0.184	0.075 ρa	0.176
8	0.078 ρa	0.185	0.075 ρa	0.176	0.070 ρa	0.164	0.068 ρa	0.156
9	0.071 ρa	0.163	0.068 ρa	0.159	0.063 ρa	0.148	0.060 ρa	0.141
10	0.065 ρa	0.154	0.062 ρa	0.146	0.057 ρa	0.135	0.054 ρa	0.123
11	0.060 ρa	0.142	0.057 ρa	0.134	0.053 ρa	0.124	0.050 ρa	0.113
12	0.056 ρa	0.132	0.053 ρa	0.125	0.049 ρa	0.115	0.046 ρa	0.109
13	0.053 ρa	0.124	0.050 ρa	0.117	0.046 ρa	0.107	0.043 ρa	0.101
14	0.049 ρa	0.117	0.047 ρa	0.110	0.043 ρa	0.101	0.040 ρa	0.095
15	0.047 ρa	0.110	0.044 ρa	0.103	0.040 ρa	0.095	0.033 ρa	0.089

Tabla N° 05

L = 2.4 m d = ½" R 01 jabalina = 0.440 ρ a								
a	2 m		3m		4m		5m	
#	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K	Req (Ω)	K
2	0.248 ρa	0.564	0.244 ρa	0.555	0.239 ρa	0.543	0.235 ρa	0.535
3	0.178 ρa	0.406	0.174 ρa	0.395	0.163 ρa	0.381	0.164 ρa	0.372
4	0.141 ρa	0.321	0.136 ρa	0.310	0.130 ρa	0.297	0.127 ρa	0.288
5	0.118 ρa	0.263	0.113 ρa	0.253	0.107 ρa	0.245	0.104 ρa	0.236
6	0.102 ρa	0.231	0.097 ρa	0.221	0.092 ρa	0.209	0.088 ρa	0.201
7	0.090 ρa	0.204	0.085 ρa	0.195	0.080 ρa	0.182	0.077 ρa	0.175
8	0.080 ρa	0.183	0.076 ρa	0.174	0.071 ρa	0.162	0.068 ρa	0.155
9	0.073 ρa	0.166	0.069 ρa	0.157	0.064 ρa	0.147	0.061 ρa	0.140
10	0.067 ρa	0.152	0.063 ρa	0.144	0.059 ρa	0.134	0.056 ρa	0.127
11	0.062 ρa	0.140	0.058 ρa	0.133	0.054 ρa	0.123	0.051 ρa	0.117
12	0.057 ρa	0.131	0.054 ρa	0.123	0.050 ρa	0.114	0.048 ρa	0.108
13	0.054 ρa	0.122	0.051 ρa	0.115	0.047 ρa	0.106	0.044 ρa	0.101
14	0.051 ρa	0.115	0.048 ρa	0.108	0.044 ρa	0.100	0.041 ρa	0.094
15	0.048 ρa	0.109	0.045 ρa	0.102	0.041 ρa	0.094	0.039 ρa	0.089

Tabla N° 06

Conductor de conexión a tierra para sistemas de Corriente alterna	
Sección nominal del Conductor mayor de la Acometida, (mm²)	Sección del conductor de Protección, Sp (mm²)
≤ 35	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
400 a 500	70
500 <	95

Tomada de la tabla 3-X, tomo V del código Nacional de Electricidad

Tabla N° 07

Sección mínima del conductor de protección	
Capacidad nominal del Dispositivo de Sobrecorriente, (A)	Sección del conductor de Protección, Sp (mm²)
15	2,5
20	4
60	6
100	10
200	16
400	25
800	50

Tomada de la tabla 3-XI, tomo V del Código Nacional de Electricidad

Tabla N° 08

Sección mínima del conductor de protección	
Capacidad nominal del Dispositivo de sobrecorriente, (A)	Sección del conductor de protección, Sp (mm²)
15	2,5
20	4,0
60	6,0
100	10,0

Tomada de la tabla 3-XI, tomo V del Código Nacional de Electricidad

Tabla N° 09

APENDICE B

DIBUJOS O FIGURAS

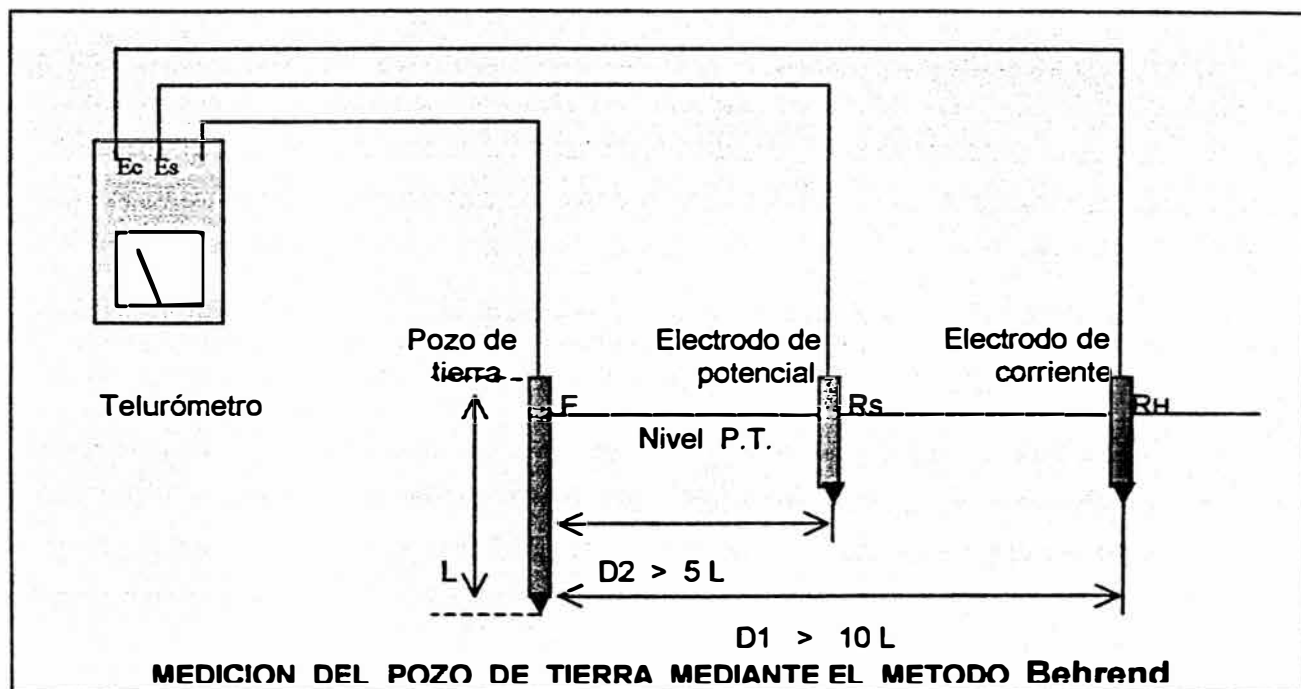


Figura 01

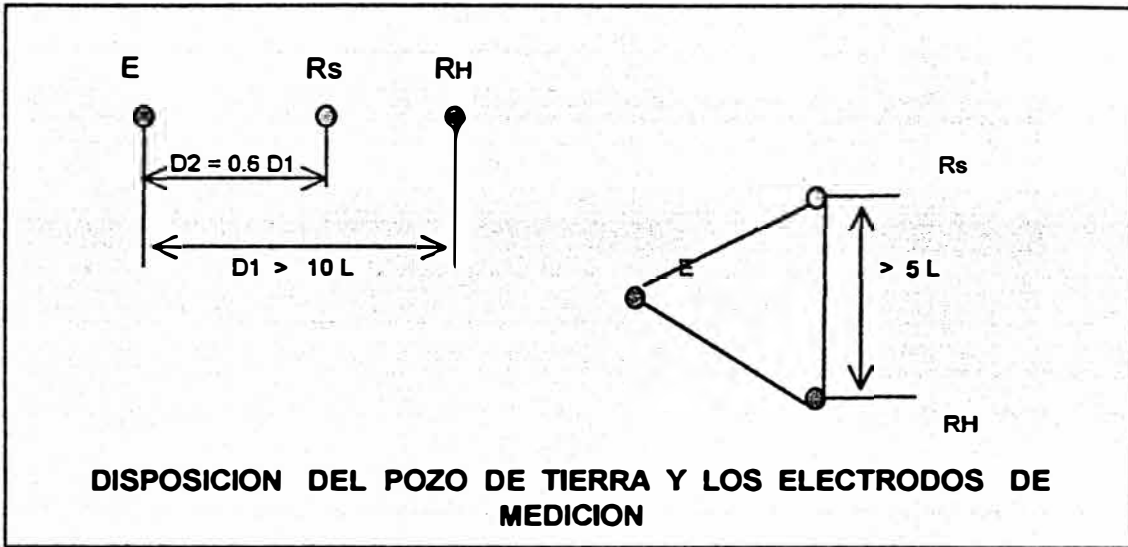
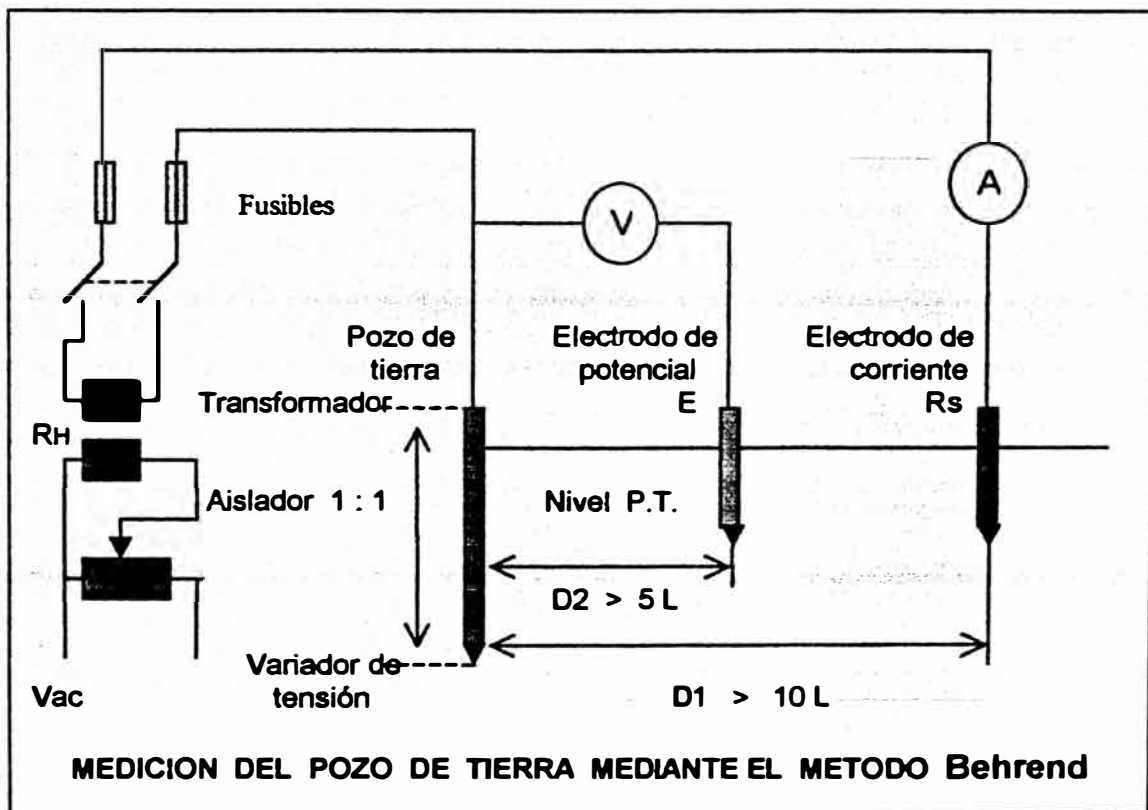


Figura N° 03



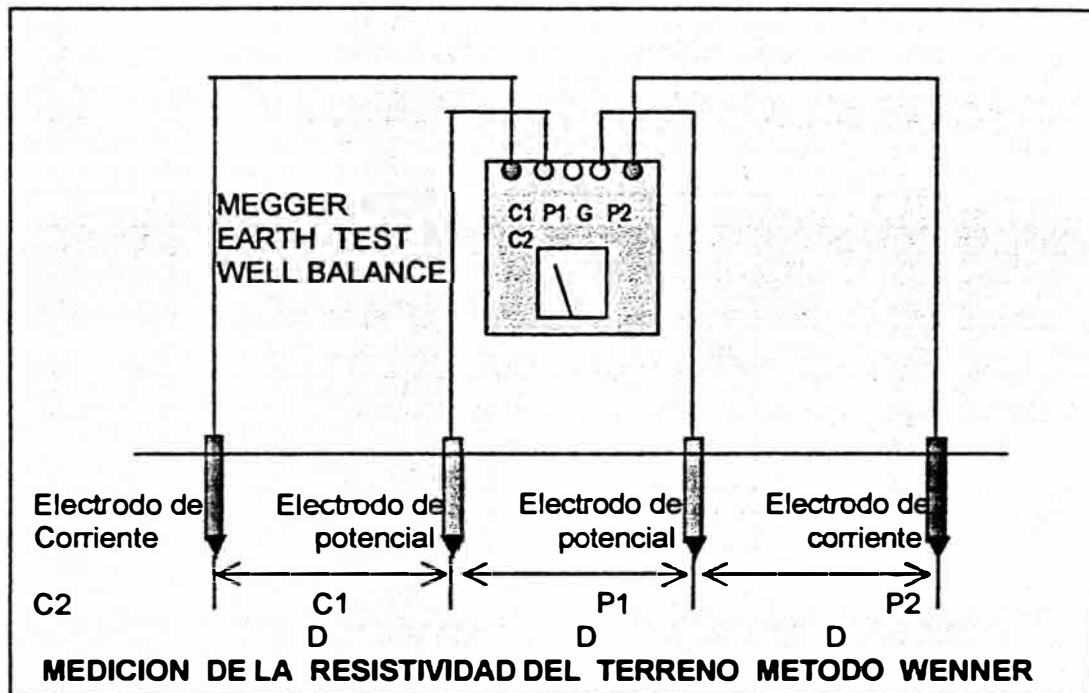
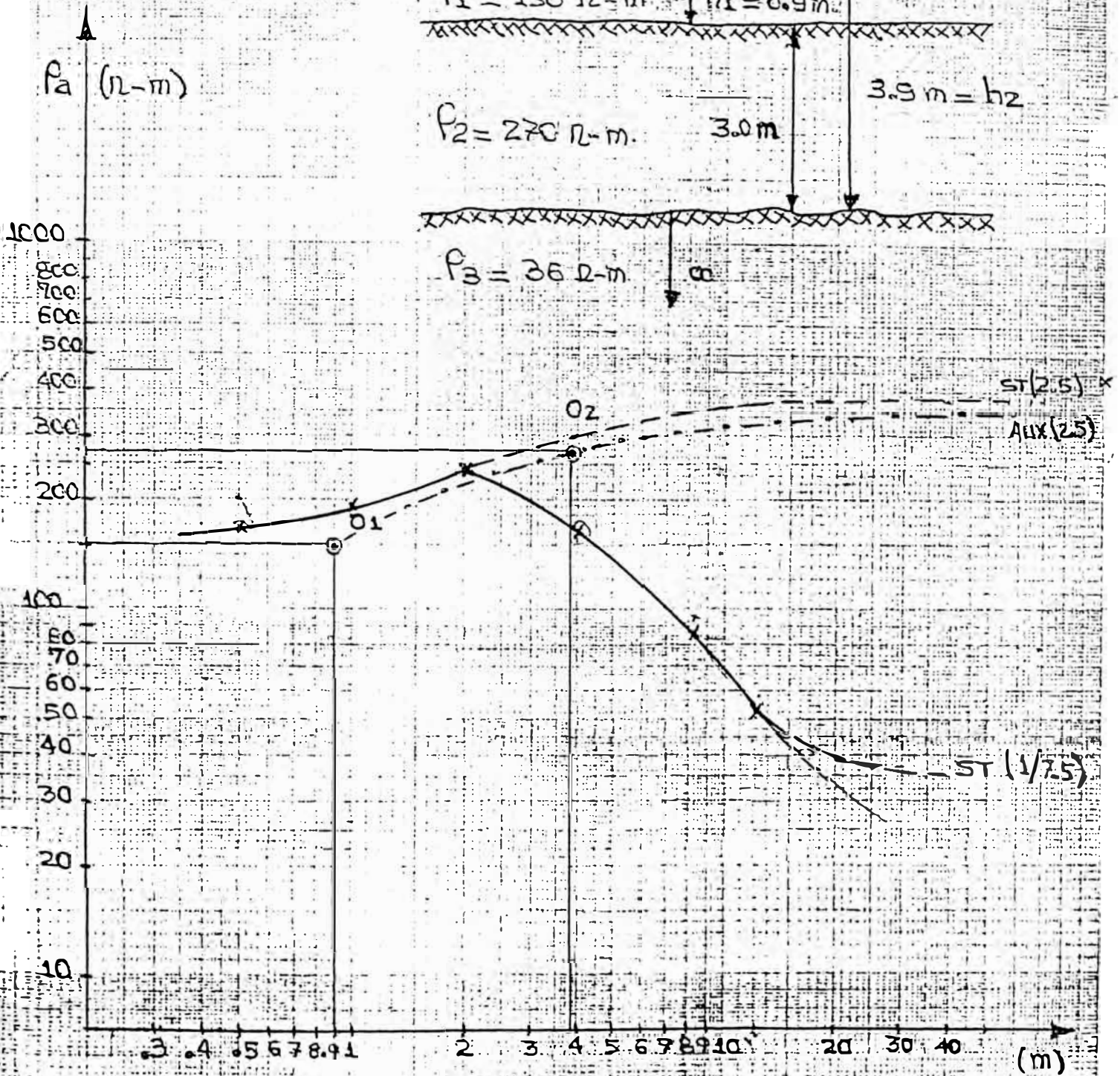
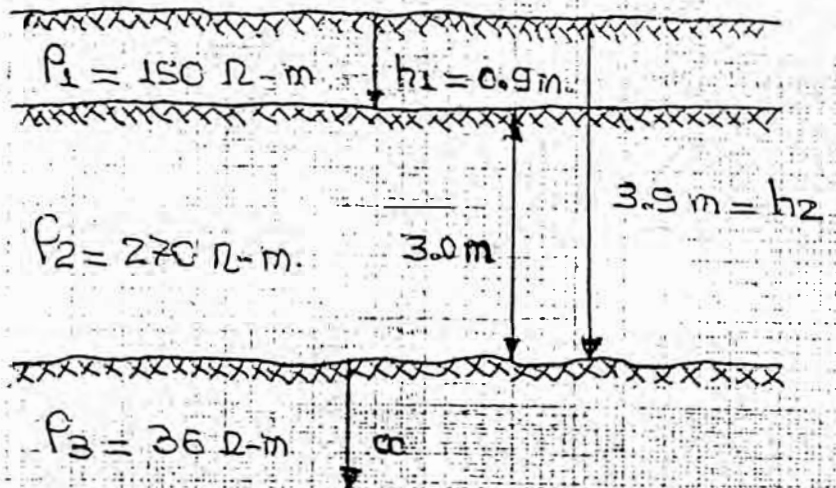


Figura N° 04

APENDICE C

Modelo : SUELO DE 03 ESTRATOS.

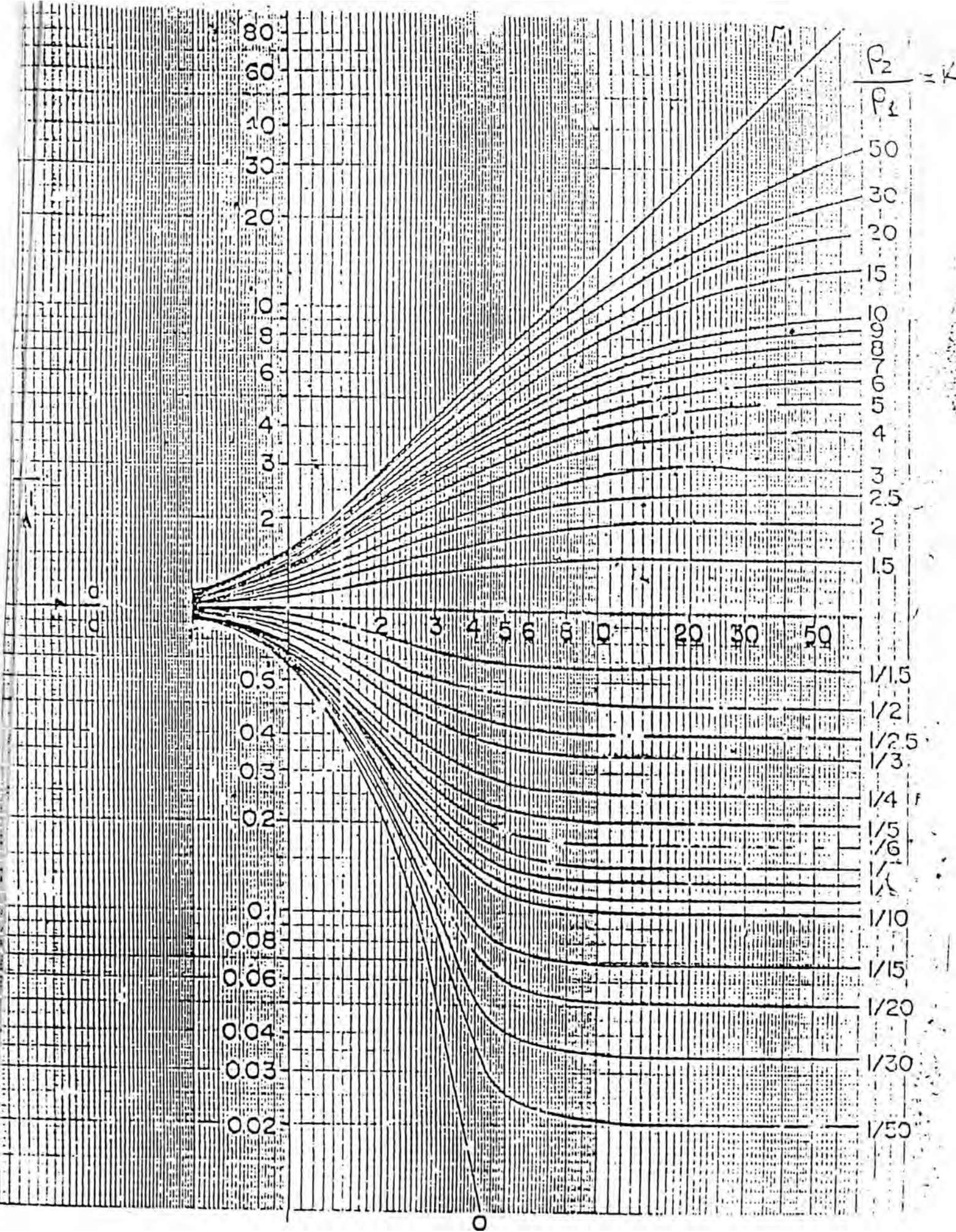


O1
 $P_1 = 150 \text{ n-m}$
 $K_1 = 2.5$
 $h_1 = 0.9 \text{ m}$

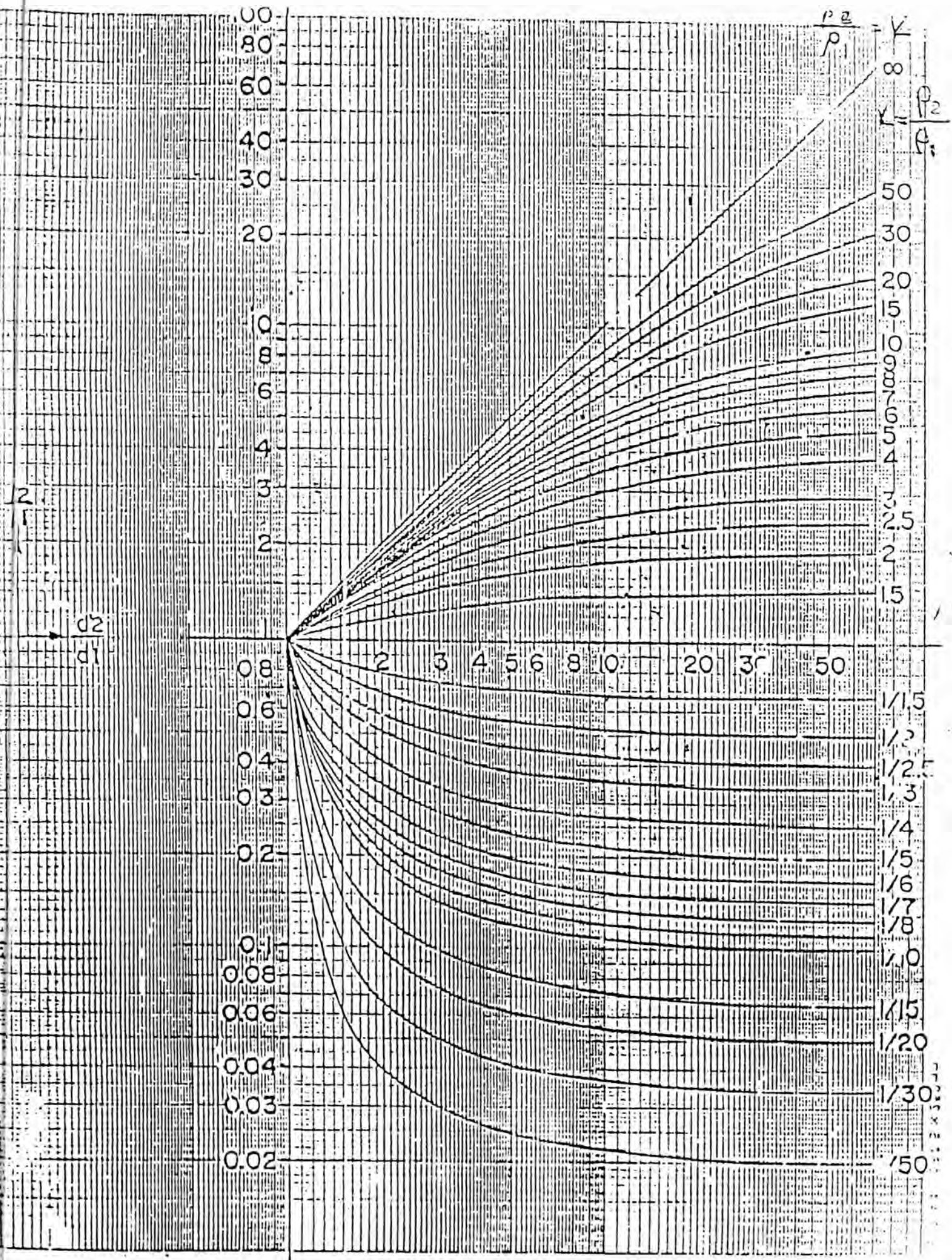
O2
 $P_2 = 270 \text{ n-m}$
 $K_2 = 1/7.5$
 $h_2 = 3.9 \text{ m}$

$K_2 = P_3 / P_2$
 $P_3 = 36 \text{ n-m}$

$P_3 < P_2$ OK.



STANDARD.
FIG(13)



AUXILIAR
 FIG(14)