

**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Ingeniería**



**Diseño y construcción de pararrayos y la red tierra del Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario de Coeneo, Michoacán**

*TESIS*

Que para obtener el grado de Ingeniero Eléctrico-Electrónico, presentan:

*Esther Barrios Martínez*

*Alberto Cortez Mondragón*

Director: M. C. Armado Carrillo Vargas

Codirector: M. I. Luis Arturo Haro Ruiz

México D.F.

Mayo 2005

m. 346438



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **Agradecimientos**

*A la UNAM por darnos la oportunidad de pertenecer a la más importante casa de estudios y darnos el orgullo de ser universitarios. Nos esforzaremos por dejar tu nombre, tu historia y tradición en alto. ¡¡México, Pumas, Universidad!!*

*A la Facultad de ingeniería por brindarnos una formación profesional y cultural, tan grande, que se lo agradeceremos en futuro. ¡¡Vino, mujeres...!!*

*Este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración del Ing. Guillermo López Monroy, su amistad, apoyo y ánimo, alentó la continuidad del trabajo.*

*Asimismo, gracias al M. C. Armando Carrillo, por brindarnos su tiempo y apoyo, en la elaboración de tesis y en el trabajo de campo en Michoacán.*

*De igual manera, agradecemos al Dr. Américo González Esparza, por confiarnos este proyecto.*

*Un agradecimiento especial, al Ing. Juan Manuel Martínez y al laboratorio de Eléctrica, por ayudarnos en el préstamo de equipo y por su colaboración en la revisión de ésta tesis.*

*Por otro lado, gracias a Gilberto por brindarnos su amistad y él habernos ayudado.*

*A Roberto por su aportación, a esta tesis en la primera etapa.*

*A los ingenieros que accedieron ser nuestros sinodales.*

**Esther y Alberto**

*A Dios por darme la oportunidad de vivir y ver realizados mis sueños, gracias...*

*A mi mamá, por su amor, cariño y comprensión incondicional que me a dado durante toda mi vida, además por su ejemplo de humildad y constancia. A mi papá, por su ejemplo de lucha, aprendí que mientras tenga vida, hay que trabajar intensamente por todos los sueños. Tu firmeza, no impide que te extrañe mucho, espero volverte ver. Este trabajo se los dedico a ustedes, por todo lo que representan en mi vida.*

*A Araceli, Adrián, Dámaris, David y Malena, mis hermanos, por su apoyo, amistad y por todos esos momentos que hemos vivido, el logro de esta meta se debe a ustedes, gracias.*

*A David, mi sobrino, por darme la alegría de ser tía. A Victor, a mis tías Felisa y Agustina, a Gabriel por su compañía y apoyo.*

*A la familia Barrios Salcedo, por su amistad, cariño y por compartir metas conmigo.*

*A Emmanuel y a Esther M. por su compañía, por demostrarme que se pueden tener amigos donde parece difícil.*

*A Fabiola e Ismael, que durante el transcurso del tiempo nuestro compañerismo se convirtió en amistad, la cual les estoy muy agradecida. Por ser parte de mi vida y por haberme hecho pasar una grata estancia durante este tiempo de estudios.*

*A Cuauhtemoc, por enseñarme que todas las personas somos diferentes, y que por esto hemos llegado a ser buenos amigos, por todos los momentos y tiempo que ha compartido conmigo, por su inseparable compañía, amistad y por sus múltiples manifestaciones de cariño.*

*A Hector por estar conmigo durante estos últimos años. A Alberto por compartir conmigo el gusto por el fútbol y por esos torneos ganados. A Ulises por su compañía durante los últimos semestres en la Facultad.*

*Un agradecimiento especial a Alberto por todo el trabajo en este proyecto, por saber cocinar y por hacerme menos pesado el trabajo de campo. Por las noches que no dormimos por estar trabajando. Además por su compañía y amistad.*

*En general, a todos los que de alguna manera han contribuido a la realización de este proyecto.*

**Esther**

*A Dios por darme fe, fuerza y fortaleza, dándome la oportunidad de haber logrado una de las cosas más importantes de mi vida.*

*A mis padres P. Rita y Alberto M. quienes gracias a su amor, comprensión, dedicación y consejos, les debo y doy gracias por todo lo que he logrado, les agradezco el haberme sabido guiar por el camino correcto y por su apoyo incondicional, el cual gracias a esto he logrado realizar este trabajo.*

*A mis hermanas, Claudia y Margarita, por todo su cariño que he obtenido desde el momento que estuvimos juntos y por todo su apoyo que me han brindado durante el transcurso de mi vida.*

*A mis hermanos, Israel y Alejandro, por todo el apoyo, confianza, hermandad y seguridad que me han brindado, gracias a su amistad incondicional ya que juntos hemos logrado llegar, aún que en momentos diferentes, ha estos momentos importantes de nuestra vida.*

*A el buen Dario, quien desde el momento que lo conocí me brindó su amistad sin dudar de mí, por haberme apoyado y ayudado en todos los momentos difíciles de mí carrera, ya que en un momento crucial de la carrera fue un impulso para seguir adelante.*

*A Ady quien fue un importante impulso de mi vida, por el cariño y apoyo le agradezco los buenos momentos que me ofreció, muchas gracias.*

*A mis amigos de la Facultad, Temo, las Güeras, Maru, el Champi, Mau, Yadiz, Gil, Jaziel, Paulo, Carlitos, Nacho, Cori, Talivan, Huehue, Vianey, por su apoyo y amistad tan sincera que me han brindado durante este corto tiempo de nuestra carrera.*

*A la familia Piña, por su amistad, apoyo y confianza que me han brindado desde el momento que nos conocimos, y ya son parte de mí vida. Les agradezco esos momentos de nuestra vida.*

*A la familia Colín, quienes desde al momento que me conocieron me brindaron su amistad y me abrieron las puertas de su casa.*

*A Esther, por su amistad en todo momento y por la fuerza que presentó al realizar éste trabajo bajo todas las situaciones presentadas.*

*Al Ingeniero Monroy, quien nos dio el apoyo y nos brindo su amistad en todo momento para lograr este proyecto.*

*A todas las personas mencionas y a las que por el momento la mente no me hace recordar, les agradezco todo los momentos que hemos tenido y el apoyo que me han brindado. Por esto y más, mil gracias.*

**Alberto**





## Diseño y construcción de pararrayos y la red de tierras del radiotelescopio de centelleo interplanetario de Coeneo, Michoacán.

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes científicos del Radiotelescopio.	1
1.1.1. Descripción del Radiotelescopio y su infraestructura asociada.	2
1.1.2. Objetivos científicos del MEXART.	4
1.2. Radiotelescopios análogos en operación en el mundo.	4
1.2.1. Ooty radio telescope:ORT	4
1.2.2. Solar terrestrial Environment laboratory	5
1.2.3. European incoherent SCATter radar	5
1.3. Clima espacial y sus efectos.	7
<b>2. Teoría Electromagnética</b>	<b>13</b>
2.1. Fuerza entre cargas electroestáticas.	13
2.2. Campo eléctrico.	14
2.3. Ecuaciones de Maxwell.	15
2.4. La naturaleza electromagnética del rayo.	16
2.4.1. Campo eléctrico bajo condiciones de rayo.	21
2.4.2. Modelo electrogeométrico del rayo.	23
2.5. Inducción electromagnética.	24
2.6. Propiedades eléctricas y magnéticas del terreno.	25
2.6.1. Características geológicas y eléctricas del terreno en la ciénaga de Zacapu.	27
2.7. Campo eléctrico inducido por electrodos en el terreno.	28
2.7.1. Condiciones de frontera: Terreno-electrodo.	29
2.7.2. Sistema electrodo-tierra.	32
2.7.3. Comportamiento de un arreglo de electrodos.	35
<b>3. Sistemas de Protección.</b>	<b>37</b>
3.1. Parámetros del diseño de un sistema de protección.	37

3.1.1. Nivel cerámico.	38
3.2. Protección contra descargas atmosféricas.	42
3.2.1. Tipos de protección contra descargas atmosféricas.	43
3.2.1.1. Pararrayos.	43
3.2.1.2. Blindaje.	44
3.2.1.3. Jaula de Faraday.	44
3.2.2. Normas y especificaciones que regulan la protección contra descargas atmosféricas.	44
3.3. Protección contra inducción electromagnética.	49
3.4. Protección contra sobretensiones.	49
3.4.1. Normas y especificaciones que regulan la protección contra sobretensiones.	53
3.5. Puesta a tierra.	53
3.5.1. Métodos para medir resistividad.	54
3.5.1.1. Método de Wenner.	54
3.5.1.2. Método Lee.	56
3.5.1.3. Método del electrodo central.	56
3.5.2. Método de la caída de tensión.	57
3.5.3. Métodos para bajar resistividad.	58
3.5.3. Tipos de sistemas de puesta a tierra.	59
3.5.3.1. Electrodo.	59
3.5.3.2. Malla.	60
3.5.4 Normas y especificaciones que regulan una puesta a tierra.	60
<b>4. Diseño de un Sistema de Protección.</b>	<b>62</b>
4.1. Sistema de protección contra descargas atmosféricas.	62
4.1.1. Protección contra descargas atmosféricas para los edificios.	65
4.1.2. Protección contra descargas atmosféricas para la antena.	67
4.2. Sistema de protección contra sobretensiones.	68
4.3. Sistema de puesta a tierra.	72

4.3.1. Medición de resistividad.	72
4.3.2. Tierra física para acometida	74
4.3.3. Tierra de confinamiento de descargas atmosféricas	77
4.3.4. Tierra aislada para cuarto de control, cubículos de investigadores y laboratorios	77
4.3.5. Tierra para jaula Faraday	79
4.3.6. Protección por conexión equipotencial	79
<b>5. Puesta en Obra de las Protecciones.</b>	<b>81</b>
5.1. Preparación del terreno para la instalación del sistema de protecciones.	81
5.2. Puesta en obra del sistema de protección contra descargas atmosféricas.	88
5.2.1. Puesta en obra del sistema de protección contra descargas atmosféricas directas para la antena.	88
5.2.2. Puesta en obra del sistema de protección contra descargas atmosféricas directas para los edificios.	95
5.3. Puesta en obra del sistema de protección contra inducción electromagnética.	98
5.4. Puesta en obra del sistema de protección contra sobretensiones.	101
5.4. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra.	101
5.4.1. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra para los edificios.	107
5.4.2. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra para la antena.	108
<b>6. Evaluación del Sistema de Protección.</b>	<b>109</b>
6.1. Evaluación del sistema de protección contra descargas atmosféricas y del sistema de protección contra sobretensiones.	109
6.2. Evaluación del sistema de Puesta a tierra	109
<b>7. Conclusiones.</b>	<b>114</b>
<b>8. Bibliografía.</b>	<b>117</b>

<b>9. Apéndices.</b>	120
9.1. Catálogos de conceptos.	120
9.2. Planos.	

# 1 ■ Introducción

La energía eléctrica participa en todo lugar, en consecuencia, los accidentes eléctricos reciben atención especial. Estos pueden presentarse dentro de recintos con instalaciones eléctricas, también en el exterior, originados por defectos de aislamiento de elementos y dispositivos eléctricos o por descargas atmosféricas. Debido a lo anterior, en el presente trabajo se diseña, instala y evalúa un sistema de protección contra riesgos eléctricos para las instalaciones de un Observatorio de Centelleo Interplanetario, **MEXART** (Mexican Array Radio Telescope, por sus siglas en inglés). Por sus características y el nivel de tensión en la que opera, el observatorio es una instalación de baja tensión, dedicada a propósitos científicos. Dada la importancia del proyecto, a continuación se describirán sus antecedentes y características.

## 1.1 Antecedentes científicos

La construcción de este observatorio, para estudios del viento solar y clima espacial tiene como metodología principal el uso de un radiotelescopio y la técnica de centelleo interplanetario. El Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario es un proyecto que involucra colaboración técnica y científica con diferentes instituciones de educación superior nacionales y extranjeras. Destacamos que es el primer Radiotelescopio de este tipo construido en Latinoamérica, financiado principalmente por la UNAM, CONACYT y Gobierno del Estado de Michoacán.

Como primera etapa de la construcción del Radiotelescopio, se construyó un prototipo en las instalaciones del Observatorio Geomagnético de Teoloyucán, Estado de México, que integró características de operación del arreglo final. Esto también coadyuvo a formar personal técnico capacitado en radiotelescopía, adquirir equipo de calibración: analizador de redes, analizador de espectro, generador de

radiofrecuencias, así como equipo de medición sofisticado y establecer colaboraciones con instituciones académicas, que brindaron apoyo técnico.

Este prototipo era un arreglo de 256 dipolos de onda completa, la configuración fue de tipo planar-rectangular en 4 líneas orientadas Este-Oeste, las líneas tenían una separación de 1 m en el sentido Norte-Sur. La electrónica se conformó con 4 receptores y 1 matriz de Butler de 8 puertos. La frecuencia central de operación a 139.65 MHz, con un ancho de banda de 1.5 MHz. En la Figura 1.1 se presenta una fotografía del arreglo prototipo.

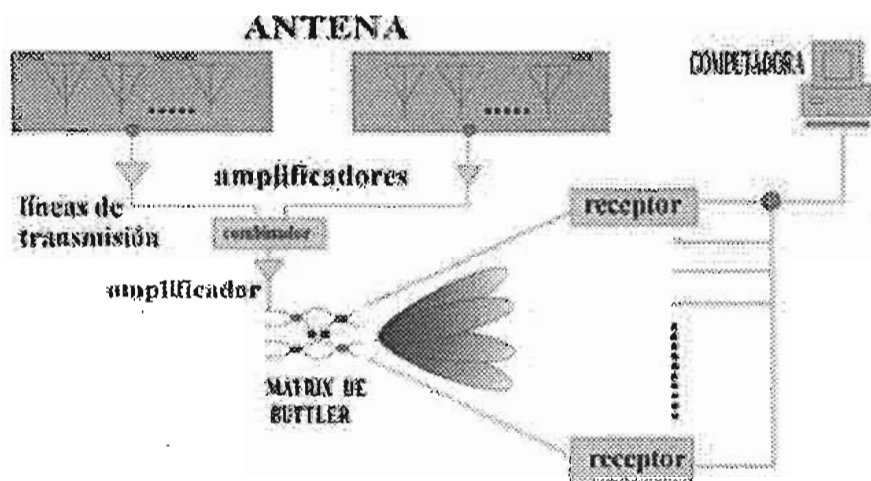


Figura 1.1. Diagrama que muestra el funcionamiento de la antena y sus componentes [20].

### 1.1.1 Descripción del radiotelescopio y su infraestructura

Después de las pruebas con el arreglo prototipo, todos los esfuerzos se enfocaron a la construcción del radiotelescopio final. Se comenzó por seleccionar el lugar idóneo para la instalación del observatorio, mediante la ejecución de pruebas de ruido electromagnético en la banda de operación y la adquisición del terreno. También se tomó en cuenta la infraestructura previa al inicio de la construcción del radiotelescopio, que incluye la construcción de laboratorios, construcción de un taller de usos múltiples, instalaciones sanitarias, implementación de una sala de cómputo y oficina de administración del proyecto. Además, orientados a la infraestructura del radiotelescopio, se construyó un sistema subterráneo para instalación de amplificadores y un sistema subterráneo de tuberías empleado para la interconexión de señal y energía.

Como resultado de las investigaciones previas, el **MEXART** se construye en Coeneo, Michoacán, a cargo del Instituto de Geofísica de la UNAM. Se localiza en la colonia Félix Ireta, municipio de Coeneo de la Libertad, Estado de Michoacán. Con coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) son  $X = 217\ 752.87$ ,  $Y = 2\ 193\ 132.92$  y  $Z = 1,974$  m, (SNM). Y sus coordenadas Geográficas son Latitud =  $N\ 19^{\circ}\ 48'\ 49''\ .865$ , Longitud =  $W\ 101^{\circ}\ 41'\ 39''\ .435$  y Altura =  $1\ 974$  m, (SNM). Las referencias principales para la ubicación del observatorio son las comunidades de: Coeneo de la Libertad, Tarejero y Bellas Fuentes en el Estado de Michoacán, Figura 1.2.

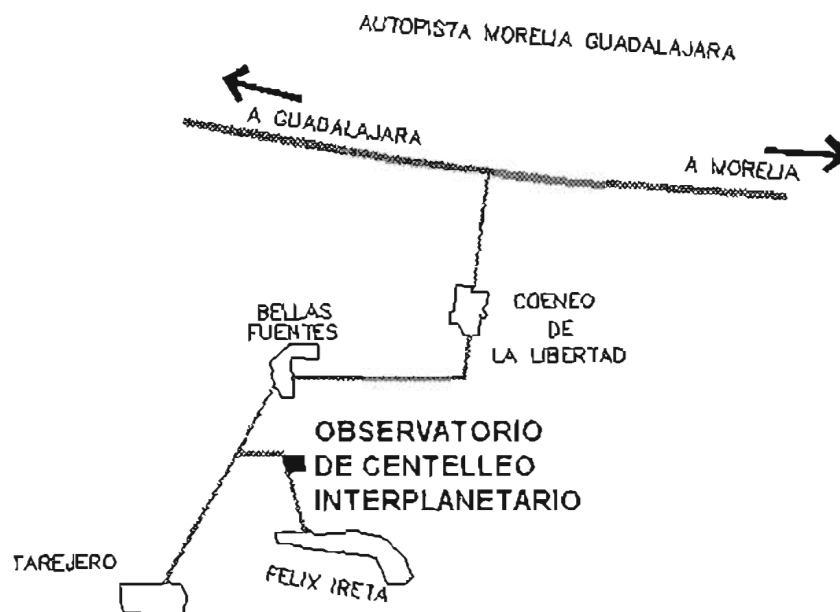


Figura 1.2. Ubicación del observatorio.

El conjunto de edificaciones arquitectónicas incluye la construcción del radiotelescopio e infraestructura directamente asociada con el instrumento. Además, de edificaciones auxiliares que conforman el observatorio de centelleo interplanetario. Una parte vital de la infraestructura es el arreglo dipolar planar de más de  $10,000\text{ m}^2$ . Además, el proyecto contempla el desarrollo de un Observatorio con capacidad para instalar el Radiotelescopio y otros detectores: Magnetómetro, estación GPS (Global Positioning System), etc.

Las edificaciones que completan las instalaciones del radiotelescopio son: Cuarto de control donde interpretan las señales que capta la antena y dos



laboratorios dedicados a calibración y ensamble; cuentan con aparatos electrónicos muy delicados y equipo de cómputo, por lo que se le tiene que garantizar un funcionamiento continuo. Además, el Observatorio cuenta con aula magna, ocho cubículos para investigadores, dos casas habitación para investigadores y estudiantes, cuarto de máquinas y taller. Ver planos IEP 1-IEP 6 y referencias 34-35.

### **1.1.2. Objetivos científicos de MEXART**

Los objetivos científicos del proyecto están vinculados con tres áreas: El estudio del viento solar, el clima espacial y las relaciones Sol-Tierra. Lo anterior se logrará mediante el rastreo de perturbaciones que viajan del Sol a la Tierra.

El MEXART forma parte de una red de observatorios, un proyecto internacional para monitorear continuamente al sol y su actividad, debido a que en todo momento alguno de los Radiotelescopios estará observando hacia el Sol.

## **1.2 Radiotelescopios análogos en operación en el mundo**

### **1.2.1. Ooty Radio Telescope (ORT)**

El Ooty Radio Telescope fue diseñado y construido en la India. Cuenta con una antena del tipo cilindro parabólico de 530m de largo y 30m de ancho, opera a una frecuencia nominal de 326.5 MHz con un ancho de banda máximo de 15 MHz. La superficie reflectora de la antena esta hecha de 1100 alambres de acero desnudo que corren paralelos al eje axial del cilindro y están soportados sobre 24 estructuras parabólicas, Figura 1.3. Consta de 1056 dipolos de media onda alimentados por reflectores en las esquinas a 90°.

El ORT fue instalado en una colina que tiene una inclinación natural de 11°, como consecuencia, los ejes de longitud del telescopio son paralelos al eje de rotación de la tierra. Lo anterior hace posible que una fuente celeste (por ejemplo, un pulsar o radiogalaxia) pueda ser rastreada 10 horas, tiempo que puede extenderse por la rotación mecánica del cilindro parabólico en la dirección Este-Oeste. En dirección Norte-Sur, el lóbulo del telescopio es controlado electrónicamente, introduciendo un gradiente de fase conveniente a lo largo del arreglo dipolar, de

manera que guía la declinación entre  $-60^\circ$  a  $+60^\circ$ . El telescopio se usa para el estudio de pulsares, radio-recombinación de líneas y centelleo interplanetario.

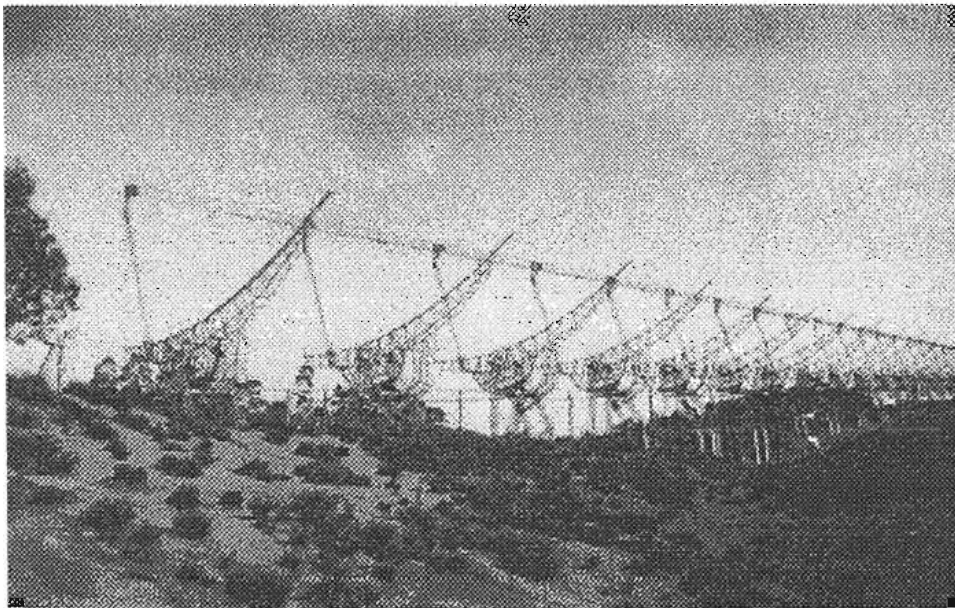


Figura 1.3. Ooty Radio Telescope [21].

### 1.2.2. Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL)

El STEL es un Radiotelescopio que trabaja en la banda de frecuencias UHF, consiste de 4 antenas, localizadas en las siguientes ciudades de Japón: Toyocawa, Fuji, Sugadaira y Kiso. Mediante éste sistema, se explora la física del viento solar.

Su antena, tipo parabólica cilíndrica reflectora opera a 327 MHz. El receptor tiene un ancho de banda de 10 MHz, con un tiempo de integración de 100 ms, Figura 1.4. Con el Radiotelescopio se estudia el viento solar empleando la técnica del centelleo interplanetario, realizan observaciones de radiación decimétrica de Júpiter y mediciones de pulsares.

### 1.2.3. European Incoherent SCATter radar (EISCAT)

EISCAT se le denomina a un sistema de radares utilizados para investigación, está bajo la responsabilidad de una organización internacional integrada por Noruega, Suecia, Finlandia, Japón, Francia, Reino Unido y Alemania. El sistema esta integrado por varias antenas que operan a tres frecuencias bajo la técnica de dispersión incoherente. Los objetivos principales son estudiar la relaciones Sol-Tierra, perturbaciones en la magnetósfera terrestre y estudios de viento solar. Dos

de las antenas se localizan en la ciudad de Tromso en Noruega, una es de tipo parabólico cilíndrico, opera a 931 MHz UHF, con un ancho de banda de 3 MHz, Figura 1.5 y la otra de tipo plato parabólico opera a 224 MHz VHF, con un ancho de banda de 8 MHz. Las otras dos antenas se encuentran en Sodankylä (Finlandia) y en Kiruna (Suecia), tienen las mismas características de la antena UHF de Tromso.

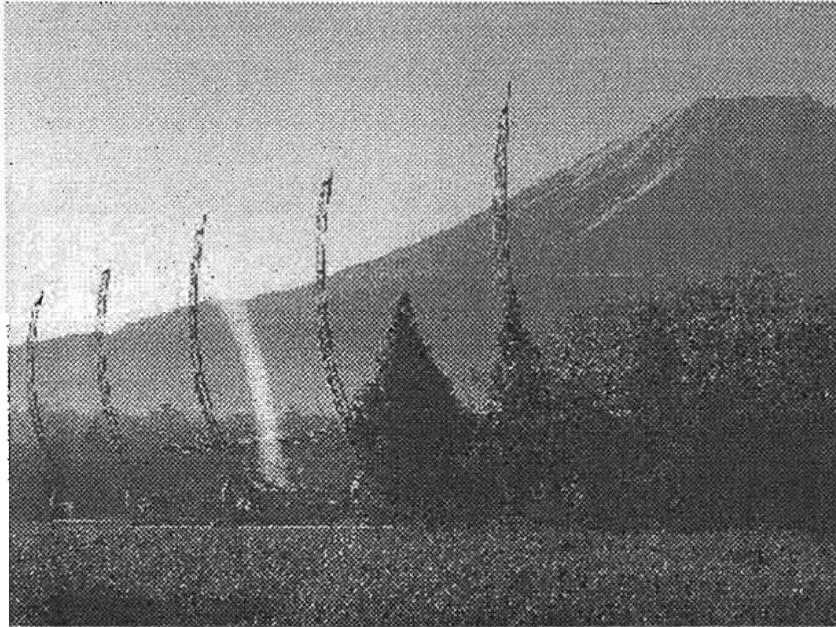


Figura 1.4. Solar Terrestrial Environment Laboratory [23].

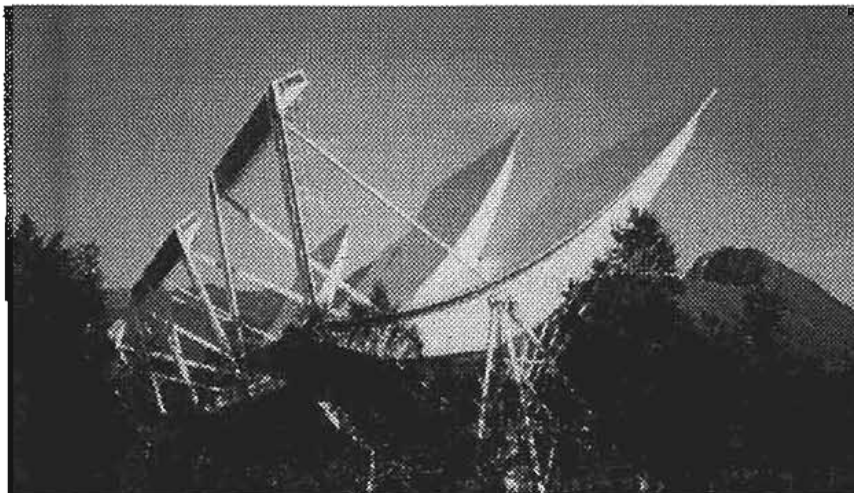


Figura 1.5. Antena de Tromso, 224 MHz VHF [23].

En Longyearbyen, Svalbard, se localiza otra antena de tipo plato parabólico de 32m, opera a 500 MHz UHF, con un ancho de banda de 10 MHz.

### 1.3 Clima espacial y sus efectos

El clima espacial es generado por el Sol, conocida como G2(V) debido a que es una estrella enana de temperatura superficial de 6000 K, por lo tanto, de color amarillo. Debido a que es un cuerpo gaseoso tiene una rotación diferencial, donde las regiones ecuatoriales giran más rápido que sus regiones polares a una velocidad que no es constante, sin embargo, su período de rotación si es constante, 27 días. Su composición, temperatura, movimientos, magnetismo, estructura, actividad y otras características pueden analizarse con técnicas espectrales y también mediante satélites y sondas espaciales con diversos sensores que detectan flujos de partículas, campos, etc. Gracias a estos medios y a la observación de manchas en su superficie, se ha calculado un ciclo de actividad solar de 11 años, asociado a la evolución de su campo magnético, que a su vez, produce variaciones en el campo magnético de la Tierra, Figura 1.6.

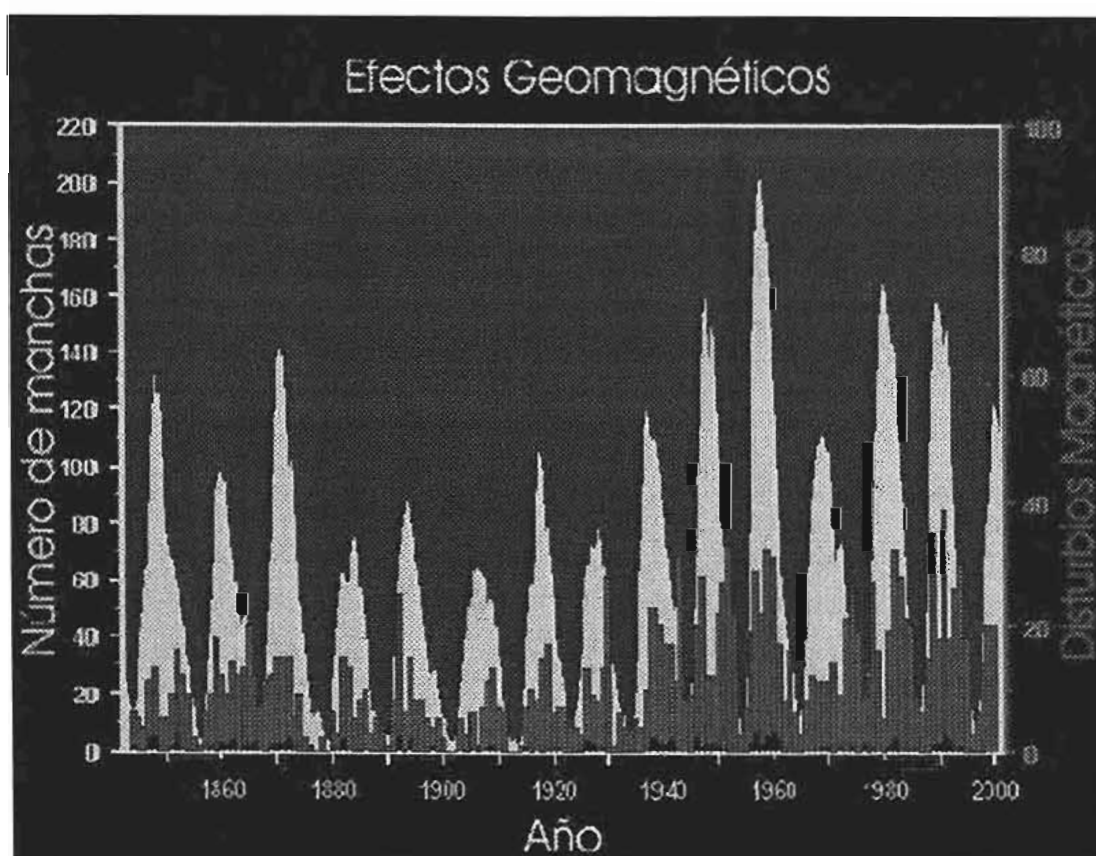


Figura 1.6. Ciclo 22 y23 de actividad solar, tiempo & número de manchas.

Otra manifestación de la actividad solar son las eyecciones de masa coronal, que pueden describirse como emisiones de plasma con intensos campos magnéticos lanzadas al espacio con velocidades de varios cientos de kilómetros por segundo, cuando el sol está quieto ocurre 2 veces por semana y cuando está activo varias veces al día. Además, debido a la expansión continua de la Corona –capa exterior del Sol- hay un flujo de partículas, denominado viento solar, plasma con alta conductividad que arrastra al campo magnético del Sol. Cuando el viento solar encuentra un obstáculo en su camino, tal como el campo magnético de la Tierra, se generen ondas en el plasma que tratan de propagarse en todas direcciones, Figura 1.7.

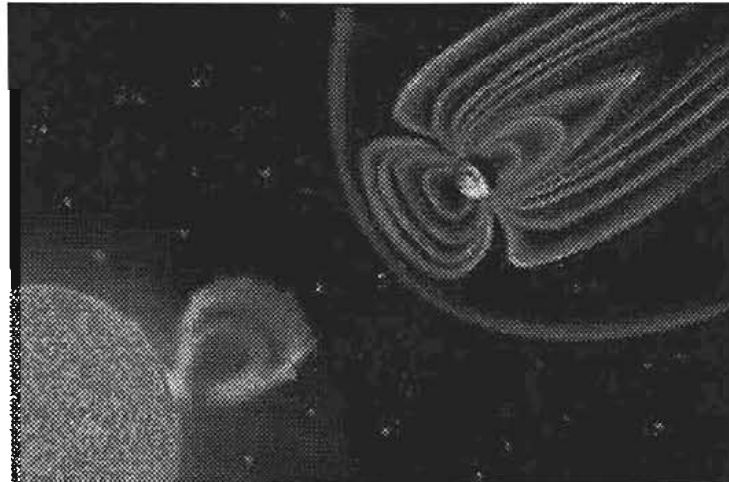


Figura 1.7. Reacción del campo magnético de la tierra ante el viento solar.

Las perturbaciones inducidas en la magnetósfera terrestre por el Viento Solar son llamadas tormentas geomagnéticas, pueden durar varias horas hasta días. Una manifestación inequívoca de tal fenómeno son las Auroras Boreales, fenómenos que pueden ser visibles en lugares cerca de los polos.

La parte tecnológica es afectada por este fenómeno de tal modo que los aparatos de navegación y exploración son alterados por el campo magnético, así mismo, dañan estructuras metálicas debido a la diferencia de potencial respecto a su entorno, por ejemplo tuberías de aceite y gas. Cuando hay una variación del campo geomagnético, se inducen corrientes de DC en los cables de telecomunicaciones, que pueden sumarse o restarse con la corriente de alimentación de los

amplificadores que instalados deben compensar las pérdidas en el cable. Esta variación puede saturar o dañar el amplificador, también puede proporcionar un nivel de amplificación que no sea suficiente para compensar dichas pérdidas. Además, causan interferencia en las comunicaciones por radio y comunicaciones por satélite, Figura 1.8.

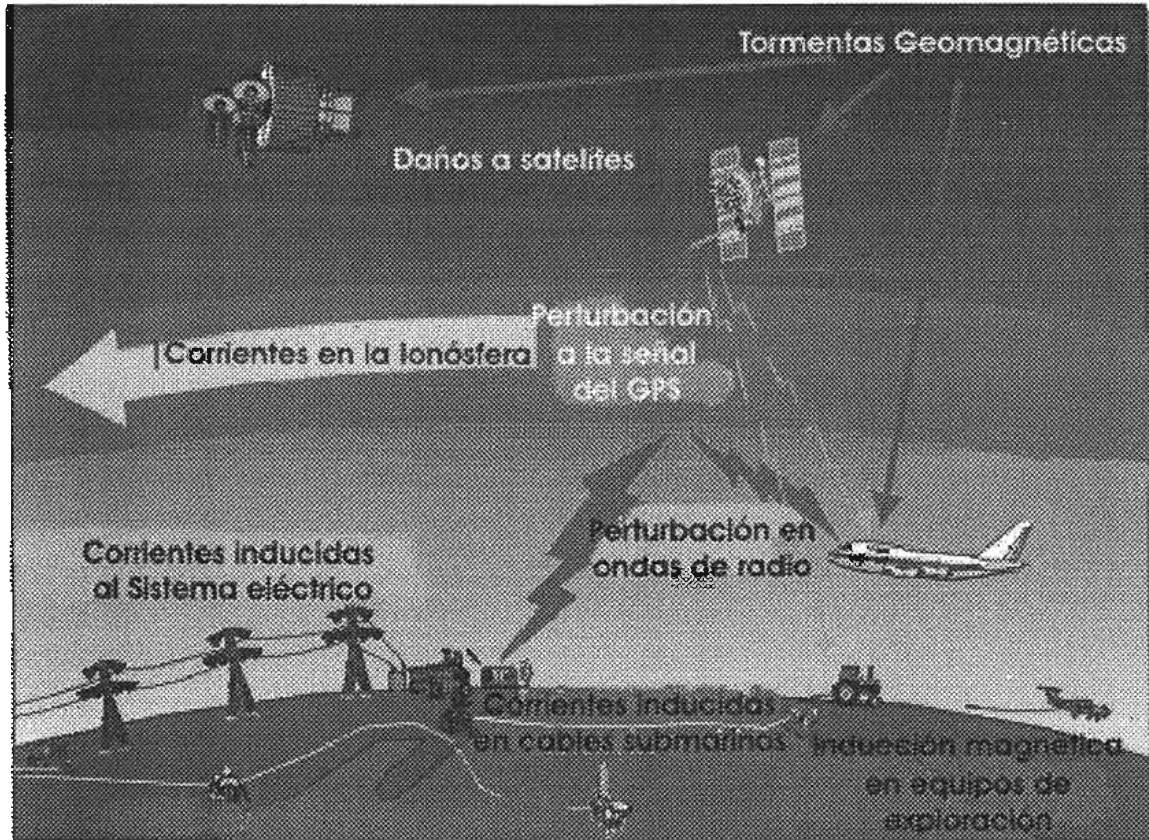


Figura 1.8. Daños causados por las tormentas geomagnéticas, [30].

Así mismo, las partículas del Viento Solar giran alrededor de la Tierra formando un anillo de corriente muy intensa que induce un campo magnético que altera la magnetósfera y la superficie de la Tierra, induce corriente que fluye hasta las subestaciones eléctricas, afectando el equipo que hay en ellas y provocando diferencias de potencial entre puntos puestos a tierra. La red de los Sistemas Eléctricos de Potencia parece una gran antena que atrae corrientes inducidas por tormentas solares, debido a que el sistema esta interconectado, los disturbios causados por la actividad solar pueden interferir en todo el complejo Sistema de Potencia, Figura 1.9. Este tipo de corrientes pueden ser muy grandes, ver Figura

1.10, saturando los dispositivos eléctricos, que se manifiesta como disminución de la tensión en el sistema, disturbios en el balance de potencia reactiva y armónicas. Debido a esto, se puede interrumpir la operación del Sistema de Potencia, dañar generadores e inducir errores en sus señales.

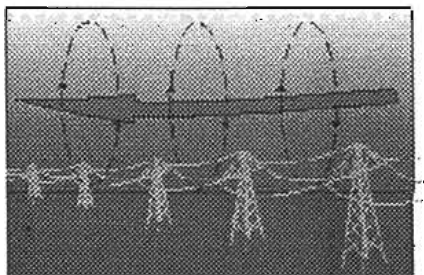


Figura 1.9. Corrientes inducidas en líneas de transmisión, [30].

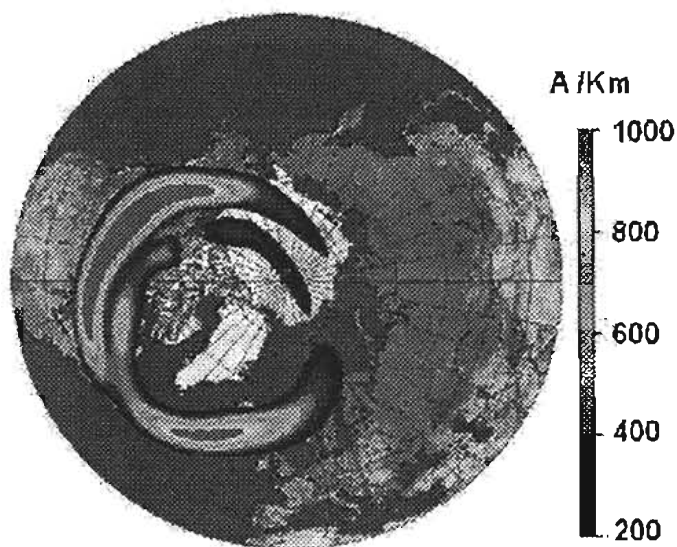


Figura 1.10. Corrientes Inducidas en la Tierra, [25].

El ejemplo más documentado respecto a los daños en Sistemas Eléctricos de Potencia, es el que ocurrió el 13 de Marzo de 1989 durante el máximo del ciclo solar 22. Las corrientes inducidas geomagnéticamente provocaron un corte de electricidad, afectando el Sistema Eléctrico de Québec, [25]. Los apagones causan sobretensiones y daños permanentes en los equipos de la red, tales como interruptores de alta tensión, transformadores y plantas de generación. Horas o días pueden pasar antes de que la energía pueda restaurarse y solo fueron necesarios 3

minutos para alterar el Sistema Eléctrico de Potencia: A las 2:42 am, un gran impulso exploto en el campo magnético de la Tierra en la frontera de US / Canadá. La tensión en la red cayó, los dispositivos de compensación automática operaron rápidamente, pero fallaron en menos de un minuto. A las 2:45am, el sistema eléctrico de Québec se apagó. En el transcurso de las siguientes 24 horas, se identificaron más consecuencias de este disturbio que se propagaron hacia el sur del continente, Figura 1.11. El costo económico, incluyendo la pérdida de continuidad de energía, el libramiento de fallas, así como la compostura o reemplazo de un transformador en New Jersey (USA) se estima en 6 billones de dólares, [27], Figura 1.12.

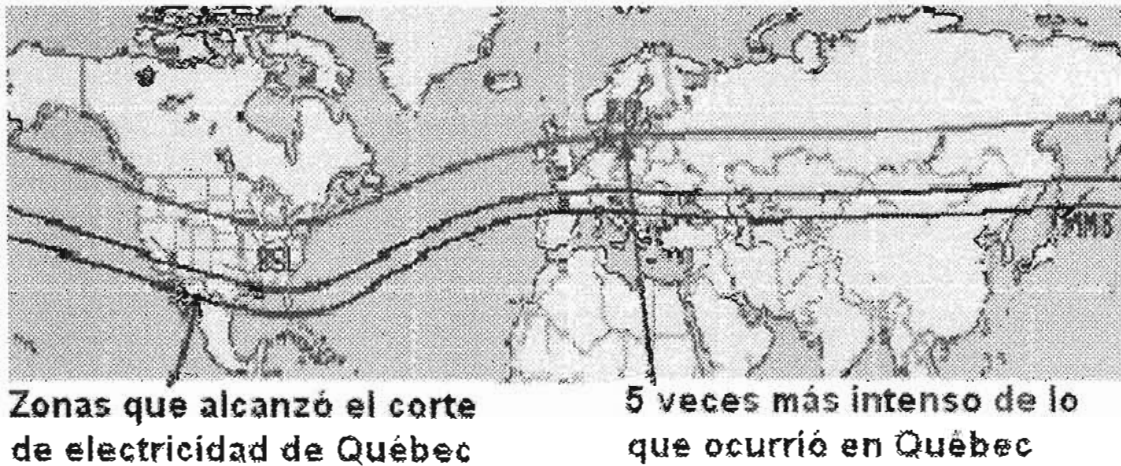


Figura 1.11. La tormenta geomagnética de Marzo de 1989 se observó en el norte de América y Europa. En la línea de arriba, se sintió 5 veces más intenso que lo ocurrido en Québec. Como el sistema esta interconectado los problemas se extendieron hasta latitudes de la última línea, [25].

Entonces, es necesario detectar la formación de corrientes antes de que provoquen efectos nocivos en los sistemas eléctricos. Modelos numéricos pueden calcular el campo eléctrico inducido en la Tierra partiendo de los disturbios del campo geomagnético. Para propósitos de Ingeniería, es conveniente calcular las corrientes producidas por el campo geoeléctrico, interactuando con la geometría y la resistencia del arreglo de puesta a tierra. El detección de una tormenta, suministrará la localización e intensidad de los impactos de dicha tormenta en líneas de transmisión, mostrará la dirección del campo magnético inducido por el flujo de



corrientes. También se podrá calcular la demanda de potencia reactiva y número de máquinas eléctricas en saturación y además, las elevaciones de corriente [23].

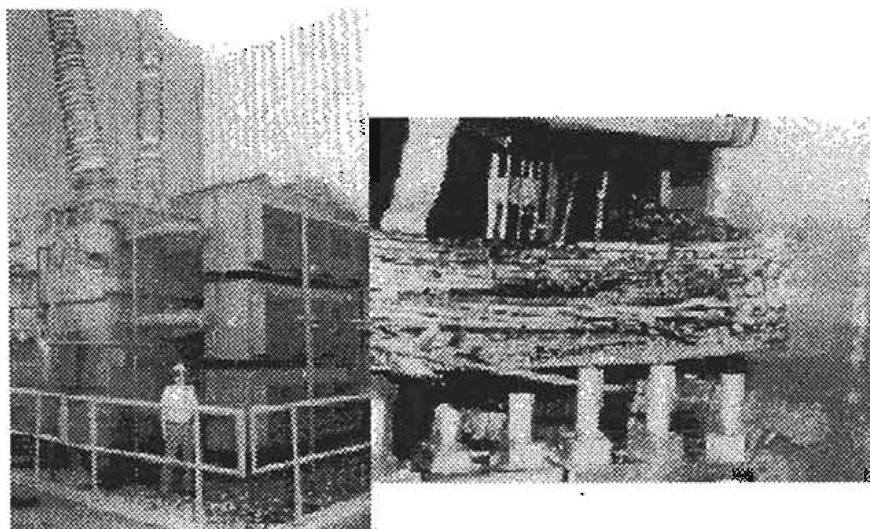


Figura 1.12. Daños de un transformador por la tormenta geomagnética de Québec [26].

A pesar de que se han hecho estudios sobre el tema, la introducción de nuevas técnicas sin duda proporcionará beneficios. Aunque el efecto de la actividad solar sobre el clima espacial es muy complejo, se puede estimar el efecto de las ondas de choque que viajan en el viento solar y el efecto de las eyecciones de masa coronal. Esto es precisamente lo que censa el Radiotelescopio, bajo la técnica de Centelleo Interplanetario que consiste en detectar la distorsión ocasionada por el viento solar, en las ondas electromagnéticas emitidas por alguna fuente celeste.

Por esta razón, la predicción del estado del tiempo en el espacio que rodea a nuestro planeta, incluyendo su magnetósfera, se ha convertido en prioridad. Más aún, según los estudios, a pesar de que se el Sol debe estar en la parte mínima de su ciclo, el Sol ha estado muy activo, esto representa un problema para los sistemas eléctricos y electrónicos a pesar de los 150 millones de Km que separan a la Tierra del Sol.

La relevancia de la operación continua del MEXART, apresura la necesidad de incorporar sistemas de protección.

# 2 ■ Teoría Electromagnética.

La base de este proyecto está en aplicar los principios físicos de la teoría electromagnética en los sistemas de potencia eléctricos, lo cual remarca la importancia de comprenderlos.

## 2.1 Fuerza entre cargas electrostáticas.

La carga es una propiedad intrínseca de las partículas que forman la materia, tanto los protones como los electrones tienen carga. En muchas ocasiones se dice que la materia está cargada cuando se considera que tiene un exceso de protones o de electrones. Hay diversas formas de cargar la materia, por ejemplo por contacto, fricción o inducción. Además, la carga eléctrica se puede cuantificar por medio de la ley de Coulomb: Las cargas se atraen o repelen proporcionalmente al producto de la magnitud de ellas, e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia de separación. Cuantitativamente expresada por la Ecuación (2.1):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r} \quad (2.1)$$

donde:  $F$  es la fuerza electrostática,  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  es la permitividad del vacío,  $q_1$  y  $q_2$  son las cargas,  $\mathbf{r}$  es el vector que determina la dirección en que se aplica la fuerza, la cual tendrá un sentido de repulsión o de atracción dependiendo del signo de las cargas, y  $r$  es la distancia entre cargas. Además, por definición, las cargas iguales se repelen y cargas opuestas se atraen.

## 2.2 Campo eléctrico.

El campo eléctrico es una región energética que rodea un cuerpo cargado, con base en la Ley de Coulomb (2.1) su intensidad puede calcularse así:

$$E = \frac{F}{q} \quad (2.2)$$

donde:  $E$  es el campo eléctrico y es igual a la fuerza eléctrica por unidad de carga.

Cuando a un conductor se le aplica un campo eléctrico se produce corriente debido al movimiento de los electrones. En consecuencia, para el conductor:

$$J = \sigma E \quad (2.3)$$

A esta ecuación se le conoce como la Ley de Ohm,  $J$  [ $A/m^2$ ] es la densidad de corriente y  $\sigma$  [ $S/m$ ] es la conductividad del material. Generalmente, a la conductividad se le expresa por el valor de su parámetro inverso, la resistividad  $\rho$  [ $\Omega m$ ].

Por otro lado, al aplicarle un  $E$  a un material dieléctrico, la densidad de flujo eléctrico  $D$  es mayor que en el vacío.

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (2.4)$$

donde  $P = \chi \epsilon_0 E$ , esto indica que la polarización  $P$  varía proporcionalmente al campo eléctrico aplicado. Aquí  $\chi$  es una constante llamada susceptibilidad eléctrica del material, representa lo sensible que es un dieléctrico al campo eléctrico. Además, si la permitividad del medio  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ , donde  $\epsilon_r$  es la relación entre la permitividad del medio y la del vacío se obtiene:

$$D = \epsilon_0 (1 + \chi) E = \epsilon_0 \epsilon_r E = \epsilon E \quad (2.5)$$

Asimismo, cuando el campo eléctrico en un dieléctrico es suficientemente grande, desprende electrones de las moléculas y el dieléctrico se vuelve conductor. El valor mínimo del campo eléctrico al que ocurre la ruptura dieléctrica se llama *resistencia o rigidez dieléctrica* del material.

### 2.3 Ecuaciones de Maxwell.

Maxwell integró en cuatro ecuaciones la teoría electromagnética. En ellas intervienen cantidades físicas como el campo eléctrico ( $E$ ), el campo magnético ( $B$ ), la densidad de flujo eléctrico ( $D$ ), la intensidad de campo magnético ( $H$ ), la densidad de corriente eléctrica ( $J$ ) y es la densidad de carga eléctrica ( $\rho$ ).

La ley de Gauss establece que el flujo eléctrico que pasa por cualquier superficie cerrada es proporcional a la carga que encierra esa superficie.

$$\oint_{Sv} D \cdot ds = \int_V \rho dV \quad (2.6)$$

donde la superficie  $Sv$  encierra un volumen y para campos electrostáticos puede convertirse en:

$$\oint_{Sv} E \cdot ds = 0 \quad (2.7)$$

Oersted y después Ampere, mencionaron que la corriente y/o la variación temporal del campo eléctrico inducen un campo magnético.

$$\oint_C H \cdot dl = \int_{Sc} J \cdot ds + \int_{Sc} \frac{\partial D}{\partial t} ds \quad (2.8)$$

donde: el contorno  $C$  encierra una superficie  $Sc$ . Según la Ecuación (2.8) la integral de línea del campo magnético sobre cualquier contorno cerrado, es igual a la corriente total encerrada por dicho contorno.

Ley de Faraday, establece que el campo magnético que varía con el tiempo induce una fuerza electromotriz o campo eléctrico.

$$\int_C E dl = - \int_{S_C} \frac{\partial B}{\partial t} ds \quad (2.9)$$

donde: el contorno  $C$  encierra la superficie  $S_C$  y el sentido de las líneas de integración sobre el contorno  $C$  son consistentes con la dirección del vector superficie  $ds$ , de acuerdo con la regla de la mano derecha.

La cuarta ecuación indica que no hay cargas magnéticas o monopolos magnéticos, por lo tanto, las líneas de campo magnético siempre son cerradas.

$$\oint_{S_V} B \cdot dv = 0 \quad (2.10)$$

donde la superficie  $S_V$  encierra un volumen  $V$ .

Las ecuaciones de Maxwell antes presentadas están en su forma integral, sin embargo también se pueden trabajar en su forma diferencial, dependiendo de la aplicación.

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (2.11)$$

$$\nabla \times H = \bar{J} + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.12)$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.14)$$

#### 2.4 La naturaleza electromagnética del rayo.

Por su importancia, se ha estudiado el comportamiento de las descargas atmosféricas, con el objetivo de mitigar y en la medida de lo posible prevenir sus efectos negativos. Benjamín Franklin (1706-1790) empezó probando la naturaleza eléctrica de los rayos y creó el pararrayos. Después, M. M. Poisson, Lefevre-Gineau,

Girard, Dulong, Fresnel y Gay-Lussac, en 1822, comisionados por la Academia de Ciencias de Francia, mejoraron el pararrayos de Franklin y recopilaron especificaciones sobre la protección en edificios contra descargas eléctricas, que fue utilizado como estándar. Años más tarde, en 1879, Anderson publica el libro titulado "*Pararrayos, su historia, naturaleza y modo de aplicación*", que se utilizó como referencia. En avances recientes, podemos mencionar a Pockels, en Alemania, que midió las corrientes de los rayos analizando el campo magnético inducido y a Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959), que postuló una teoría sobre la separación de cargas en tormentas eléctricas.

Actualmente sabemos que el rayo es un fenómeno electromagnético transitorio, es la descarga de electricidad estática concentrada en una nube que ocurre cuando la diferencia de potencial rompe la resistencia dieléctrica del medio. Este fenómeno natural se origina en las tormentas eléctricas, que están formadas por varias regiones cargadas dentro de las nubes y ubicadas alrededor de 10 Km de altura donde ocurren los procesos básicos, como el de convección: aire húmedo y tibio asciende a zonas más frías con una velocidad de 100 Km/h, se va enfriando y condensando, por lo que libera calor. Las gotas condensadas se enfrían, incluso llegan a temperaturas inferiores a la de congelación, haciendo posible la formación de cristales de hielo y granizos. Estas partículas de hielo se vuelven demasiado pesadas como para que la corriente de aire ascendente las siga manteniendo y comienzan a caer, creando viento frío que anticipa una tormenta.

El proceso anterior implica turbulencia atmosférica, movimiento que provoca fricción mutua, de esta manera, se acumulan las partículas de agua que se han cargado electrostáticamente, concentrando la carga en la nube.

Hay distintos tipos de rayos, más de la mitad de ellos ocurren dentro de la nube, se les llama rayos *intranube*. También, hay rayos de *nube - aire*. Otro tipo son los rayos de *nube - tierra*, se les da más importancia porque causan muchos daños, por lo que también hay más técnicas para estudiarlos. Estos se pueden clasificar por la iniciación del líder.

- Rayos de nube a tierra negativos, el líder se inicia en la nube y lleva carga negativa hacia tierra, son los más comunes, Figura 2.1.a.
- Rayos de nube a tierra positivos, el líder se inicia en la nube y lleva carga positiva hacia tierra, son muy raros, Figura 2.1.b.

- Rayos de tierra a nube negativos, donde el líder se inicia en tierra y lleva carga negativa hacia la nube, Figura 2.1.c.
- Rayos de tierra a nube positivos, donde el líder se inicia en tierra y lleva carga positiva hacia la nube, Figura 2.1.d.

Los dos últimos tipos son raros, pero cuando ocurren lo hacen desde montañas y estructuras altas.

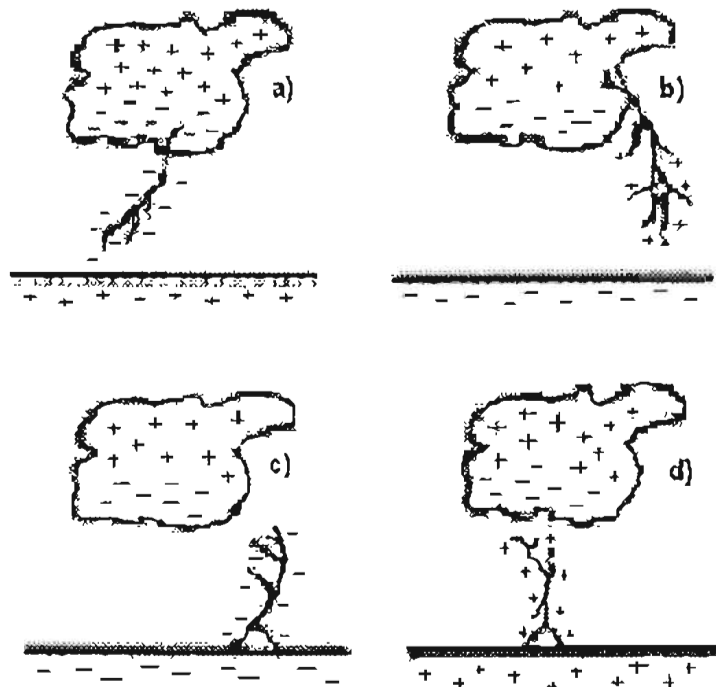


Figura 2.1. Cuatro tipos de rayos entre nube y tierra. a) Rayos de nube a tierra negativos, observamos que el líder se inicia en la nube y lleva carga negativa hacia tierra. b) Rayos de nube a tierra positivos, el líder se inicia en la nube y lleva carga positiva hacia tierra. c) Rayos de tierra a nube negativos, donde el líder se inicia en tierra y lleva carga negativa hacia la nube. d) Rayos de tierra a nube positivos, donde el líder se inicia en tierra y lleva carga positiva hacia la nube, [38].

Cabe mencionar que caen más rayos en tierra que sobre agua, también la frecuencia de la caída de rayos depende de la época del año y de la latitud geográfica, incrementando el número de rayos cerca del ecuador [38]. Para seguir explicando su desarrollo se usará el rayo de nube a tierra negativo, siendo el mismo principio para los otros tipos de rayos.

En las tormentas eléctricas también se presenta carga por inducción. La parte inferior de la nube, que tiene carga negativa, induce carga positiva sobre la superficie terrestre, Figura 2.2.

Después de que las cargas se acomodan en la nube, las partes superiores poseen carga positiva, mientras que en las partes centrales y bajas predominan las cargas negativas, Figura 2.3.a, comienzan los pasos del líder de  $1\mu\text{s}$  de duración y longitud de 30 a 90 m, la pausa entre cada paso es de  $20\text{-}50\mu\text{s}$ , llevando carga negativa hacia la tierra, Figura 2.3.b-e. La velocidad promedio de propagación del líder es de  $200\ 000\ \text{Km/s}$  con una corriente de 100 a  $1000\ \text{A}$  [38]. Cada paso del líder es consecuencia de la diferencia de potencial y continúa el siguiente paso hasta que hay otra diferencia de potencial suficiente que rompa nuevamente la resistencia del dieléctrico, asimismo, se derivan descargas desviadas por el líder en su progresión en dirección al suelo, llamadas *ramas*, Figura 2.3.f.



Figura 2.2. La parte inferior de la nube, con carga negativa, induce carga positiva en la superficie de suelo subyacente.

Cuando el líder llega a cierta altura, incrementa el campo eléctrico de la superficie que ioniza una región del espacio denominada *canal continuo* entre la nube y el suelo que va a permitir el paso de una corriente de gran intensidad *rayo de retorno*.

El rayo de retorno comienza en la superficie y se propaga hacia el líder descendente, a una tercera parte de la velocidad de la luz ( $100\ 000\ \text{Km/s}$ ). La corriente pico del rayo de retorno es generalmente de  $10\ \text{KA}$ , disipa  $10^8\ \text{W/m}$  de potencia, a una temperatura de  $30\ 000\ \text{K}$  [38]. A la distancia entre el líder y el rayo de retorno cuando este se inicia, se le llama *distancia de descarga (SD)*. A la mitad de esta distancia se unen los rayos ascendente y descendente (*J*), Figura 2.4. Este proceso de unión es esencial para los criterios de protección.



El rayo de retorno emite un relámpago, una manifestación luminosa del rayo. Luz generada cuando los electrones de los átomos excitados que viajan por el canal ionizado, saltan de los niveles energéticos superiores a los inferiores, emitiendo en cada salto un pulso de radiación electromagnética, llamado fotón. El trueno es una manifestación sonora del rayo, una onda expansiva provocada por la energía liberada. El calor producido por la descarga eléctrica, calienta el aire y lo expande bruscamente, dando lugar a ondas de presión que se propagan como ondas sonoras. La velocidad del sonido del trueno se propaga a una velocidad de unos 300 m/s, por esta razón el trueno se oye después de desaparecer el relámpago. Entonces con el sonido que se produce a lo largo de todo el recorrido de la descarga eléctrica, se puede medir kilómetros de longitud.

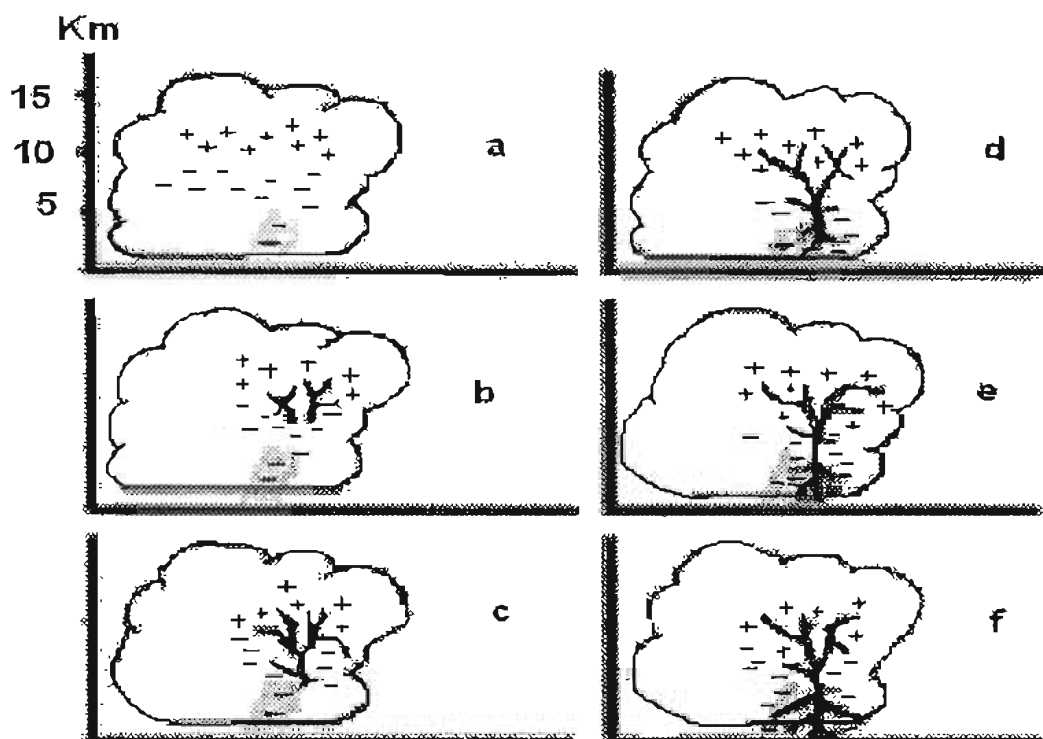


Figura 2.3. Distribución de carga en la nube y pasos del líder. a) Las cargas positivas se distribuyen la parte superior de la nube, en las partes centrales y bajas predominan las cargas negativas. b-c) Entonces las condiciones son propicias para que el líder comience a bajar. d-e) El líder sigue su recorrido, observamos ramas. f) El líder listo para generar el canal continuo entre la nube y suelo donde pasará el rayo de retorno, [38].

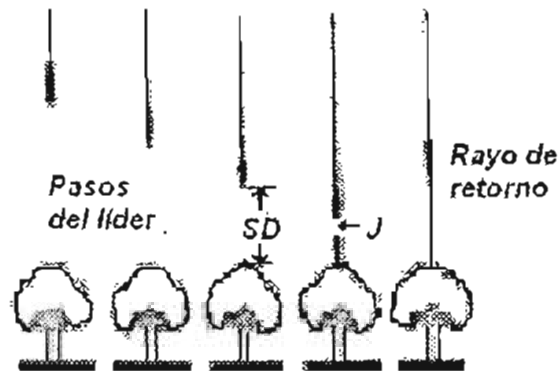


Figura 2.4. El líder y el rayo de retorno [38].

Cuando la corriente del rayo de retorno cesa, el rayo llega a su fin, en este caso se le llama *rayo de una descarga*. Por otra parte, si hay más carga disponible en la nube, un líder continuo puede propagarse hacia abajo por el canal que ionizó la primera descarga e inicia otro rayo de retorno, proceso que se repetirá dos o más veces.

#### 2.4.1 Campo eléctrico bajo condiciones de rayo.

Partiendo de la ley de Gauss y como una propiedad electromagnética, en un volumen uniforme la carga electrostática se distribuye uniformemente en su superficie, cuando el volumen no es uniforme, la carga se concentra en la porción con menor área, Figura 2.5. Como la ecuación de esta ley denota un diferencial de superficie  $ds$ , implica entonces que la carga distribuida en el  $ds$  será proporcional al campo eléctrico. Es por ello que el campo eléctrico es más intenso en relieves o prominencias, que en superficies planas. El rayo incidirá sobre el elemento que le signifique mayor conductividad y sea capaz de aportar más cargas al fenómeno. Entonces es más probable que incida en las puntas, esquinas o aristas de las estructuras, Figura 2.6.

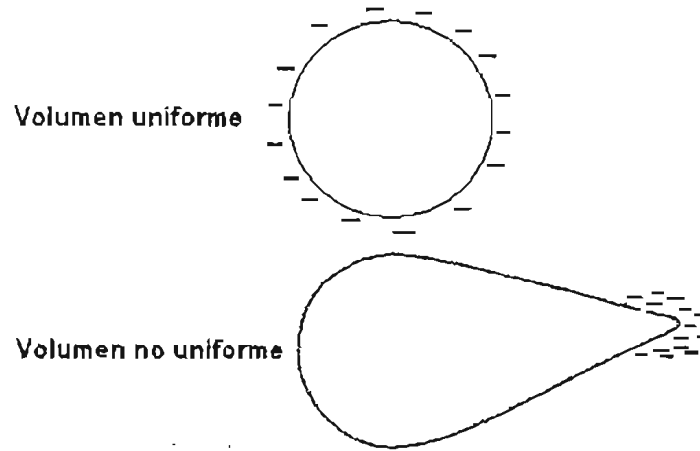


Figura 2.5. Distribución de carga.

Como ya se menciono, el campo eléctrico se comporta de manera particular en la superficie donde va a caer. Investigaciones recientes [38], han encontrado que el campo eléctrico se comporta así:

$$E(t) = \frac{\mu_0 v}{2\pi D} I(t - D/c) \quad (2.15)$$

donde:  $\mu_0$  es la permeabilidad del vacío,  $v$  es la velocidad del rayo de retorno,  $c$  es la velocidad de la luz y  $D$  la distancia horizontal hacia el rayo. La ecuación muestra que el campo eléctrico es directamente proporcional a la corriente, de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell. En la Figura 2.7 se muestran los impulsos de campo eléctrico típicos de un rayo a tierra.

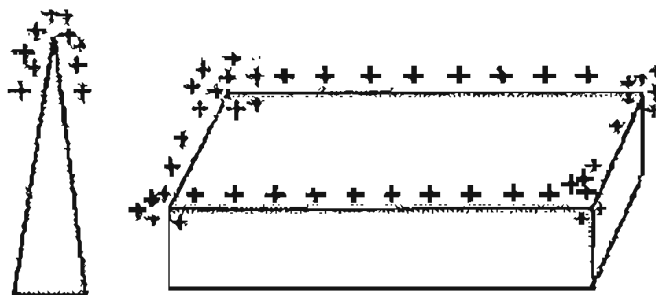


Figura 2.6. La carga se concentra en aristas y esquinas.

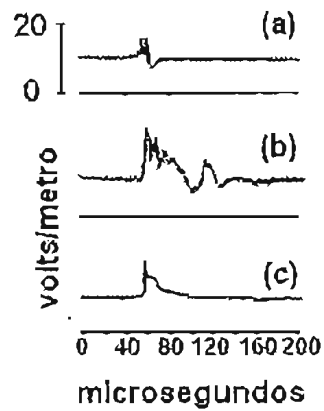


Figura 2.7. Impulsos de campo eléctrico producidos por un rayo de nube a tierra a una distancia de 50 Km. (a) cuando se ioniza el canal, (b) en el primer rayo de retorno y (c) después del primer rayo de retorno [38].

#### 2.4.2. Modelo electrogeométrico del rayo

La base de este modelo electrogeométrico del rayo es la relación entre la intensidad de la corriente del rayo y la región de alcance del extremo del líder, la que permite establecer que un rayo en su trayectoria hacia la tierra tiene preferencia en alcanzar los objetos más próximos y con mayor concentración de carga.

Para la mayoría de las aplicaciones se acepta la siguiente relación simplificada:

$$SD[m] = 10I^{2/3} [KA] \quad (2.16)$$

Esta relación entre la intensidad de la corriente y la distancia de atracción puede ser mejor comprendida si consideramos que un campo eléctrico de gran intensidad se establece alrededor de estructuras prominentes, como ya se ha mencionado, debido a que las ramas del líder proporcionan otros caminos para descargar, provocan un movimiento ascendente de cargas que va en dirección a la punta de líder, ver Figura 2.4.

Entonces, cuanto menor sea la corriente de descarga que se presente, menor será la distancia de descarga, Figura 2.8.

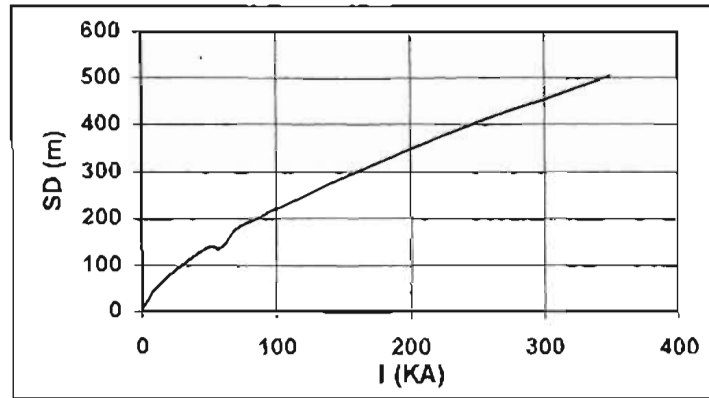


Figura 2.8. SD en función de I, la gráfica muestra la distancia de alcance de un rayo, dependiendo de la magnitud de la corriente.

### 2.5 Inducción electromagnética

Al caer un rayo sobre la superficie del suelo o en una estructura, la circulación de corriente consecuente, según la ley de Ampere, Ecuación (2.8), indica que habrá inducción electromagnética, cuyos campos, eléctrico y magnético son directamente proporcionales a la cantidad de corriente que circula por estos medios, que producen una corriente inducida a otro medio, Figura 2.9.

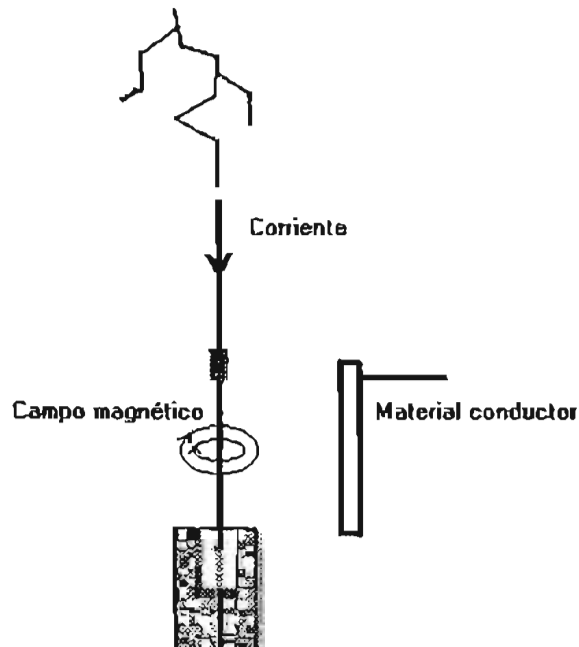


Figura 2.9. Inducción electromagnética generada por rayo.

La circulación de corriente a través de un conductor con resistencia  $R$  genera tensión de acuerdo la ley de Ohm, por lo que puede haber diferencia de potencial, respecto a otros medios

## 2.6 Propiedades eléctricas y magnéticas del terreno.

Cuando los humanos se preguntan las aplicaciones y efectos de la energía eléctrica, se empieza a experimentar el comportamiento de la tierra como conductor, así como los efectos sobre las personas e instalaciones. El físico inglés Stephen Gray (1666-1736), fue el primero en transmitir electricidad a través de un conductor de 198 m de longitud y usar a personas como conductor de electricidad. Mas adelante, junto con los científicos G. Wheler y J Godfrey, efectuó la clasificación eléctrica de los materiales en conductores y aislantes. Su contemporáneo Charles Francois de Cisternay Du Fay (1698-1739), científico francés identificó la existencia de dos tipos de cargas eléctricas, denominadas: positiva y negativa. En 1734 él mismo se usó como conductor y reporto una sensación de dolor, así como un arco a un asistente cercano, haciendo la función de conductor artificial a tierra. Más de 100 años después, en 1883 Carl August Steinheil comprobó que la tierra conducía corriente, por lo que, podía utilizarse como circuito de retorno. Después, H. F. Weber en 1897 en Zurich, experimentó la permanencia de la corriente en el cuerpo humano en función del tiempo. Éstos experimentos sirvieron para publicar el primer documento orientado a normalizar la puesta a tierra. En 1918 B. S. Peters publicó un instructivo de puesta a tierra en sistemas eléctricos, impulsó la integración de una normalización para abordar y resolver de manera ordenada los problemas relacionados con la puesta a tierra. Hasta 1924 se incluyen lineamientos para dimensionar las instalaciones de puesta a tierra. Franz Ollendorf publicó en 1928 el libro "Corrientes telúricas", donde describe una teoría científica y tecnológica que fundamenta la técnica de puesta a tierra en corriente continua y en corriente alterna, así como en corriente que se propaga como onda electromagnética de impulso. Y finalmente, Walter Koch en 1949 publicó un libro sobre puesta a tierra en instalaciones de corriente alterna con voltajes superiores a 1 KV, donde describe aspectos técnicos, orientado a fines prácticos de ingeniería.

Hasta el momento, las propiedades eléctricas y magnéticas más importantes para los cálculos de puesta a tierra son los potenciales eléctricos originados por las corrientes introducidas al suelo y por las características del terreno, la constante dieléctrica y la resistividad. La Tabla (2.1) muestra la clasificación general de diferentes tipos de terreno según su resistividad.

Tipo de terreno	$\rho$ [ $\Omega$ m]
Tierra orgánica húmeda	10
Tierra húmeda	100
Tierra seca	1000
Roca	10000

Tabla 2.1. Valores de resistividad para diversos tipos de terreno [8].

La resistividad varía de acuerdo a las condiciones geológicas y geofísicas; por conveniencia su análisis se desarrolla suponiendo un terreno homogéneo, sin embargo, en realidad y en la mayoría de los casos el terreno es de naturaleza heterogénea, lo cual causa que el comportamiento del sistema de tierra no resulte según el cálculo hecho para terreno homogéneo, ya que el valor de resistividad ya no corresponde a esa clase de terreno. Se pueden identificar alrededor de 11 clases de heterogeneidades, algunas no presentan modificaciones considerables, pero algunas, si modifican el valor.

Cabe mencionar que la resistividad del terreno está relacionada con el grado de corrosión hacia los materiales con los que está en contacto, Tabla 2.2. La corrosión es más activa a medida que el terreno contiene mayor humedad y sales, elementos que generan soluciones electrolíticas que le dan al terreno una cierta acidez denominada agresividad.

$\rho$ [ $\Omega$ m]	Grado de agresividad
Menos de 10	Muy fuerte
10 a 100	Fuerte
100 a 200	Moderado
Más de 200	Escaso

Tabla 2.2. Grado de agresividad del terreno en función de la resistividad, [13].

Otra propiedad es la permeabilidad magnética. Cuando se emplean fuentes electromotrices el voltaje inducido en un conductor bajo la superficie varía, no sólo en la relación del campo magnético, sino también con la permeabilidad magnética del conductor. Entonces la ley de Faraday, Ecuación (2.13), se puede expresar así:

$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.17)$$

De esta ecuación, encontramos que la permeabilidad magnética es la relación entre inducción magnética  $H$  y la intensidad de campo magnético  $B$ .

### 2.6.1 Características geológicas y eléctricas del terreno en la ciénaga de Zacapu.

Suelo de origen volcánico y sedimentario con rocas ígneas extrusivas que datan del terciario, área formada por sedimentos lacustres muy jóvenes [37]. Como principal componente del suelo de Zacapu está la arcilla, formada por granos menores a 2 mm con otros materiales orgánicos del suelo, que sirve de cementante a los demás elementos del mismo y que, a la vez fija silicatos y otras sustancias minerales. Además, según comentan habitantes nativos del lugar, la zona era una laguna, lo que justifica que en la actualidad el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie y que los pozos naturales y los manantiales sean abundantes. Estas características permiten esperar un valor de resistividad de  $\rho = 10 \Omega\text{m}$ , ver Tabla 2.1, y una constante dieléctrica  $K = 30$ , aproximadamente.

En el terreno del Radiotelescopio es de naturaleza heterogénea, ya que las instalaciones están cerca de 2 principales cuencas de agua, una dentro del terreno del Radiotelescopio y otra a 50 m del límite de las instalaciones, Figura 2.10.



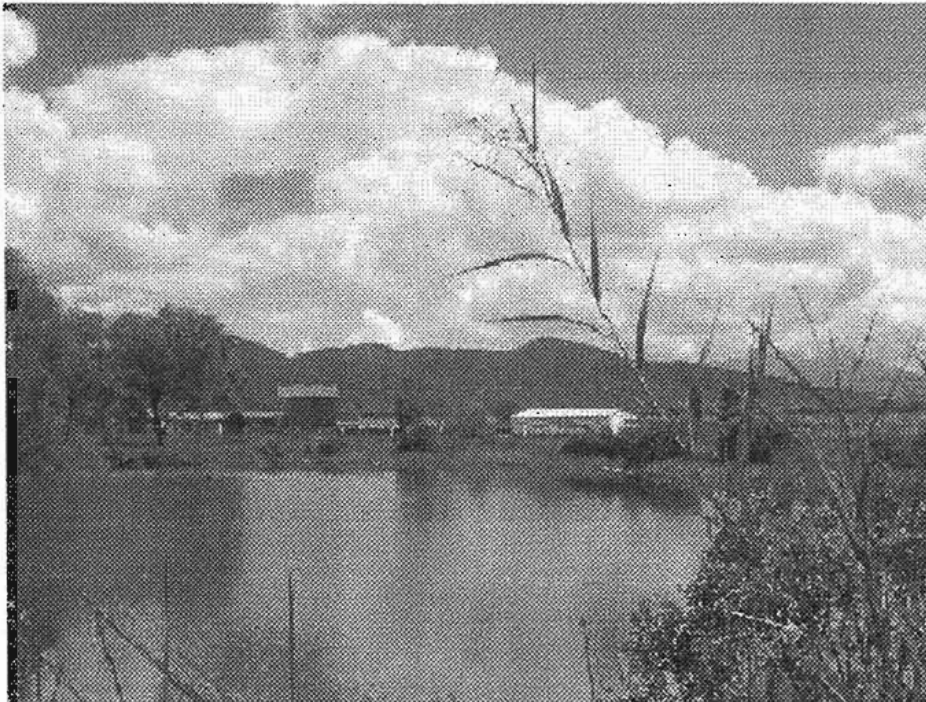


Figura 2.10. Terreno heterogéneo, cuenca de agua a 50 m del límite de las instalaciones.

### 2.7 Campo eléctrico inducido por electrodos en el terreno.

El comportamiento de los electrodos es diferente para cada clase de corriente. Por ejemplo, la resistencia a la propagación de corriente directa o de 60 Hz en un electrodo, es invariable; en cambio, con corriente de rayo (ondas de impulso) no lo es, resultando una impedancia mayor que la correspondiente a la corriente directa al principio del proceso y decayendo después de cierto tiempo a este último valor. Además, en el caso de corriente directa, la tierra sólo presenta resistencia, pero en el caso de corriente de 60 Hz, ya interviene el fenómeno de la inducción y por lo tanto, presenta una impedancia compleja [11].

Bajo el efecto de la corriente, el sistema de puesta a tierra responde con un comportamiento equivalente a un circuito RLC. La Figura 2.11 muestra el circuito equivalente del sistema de puesta a tierra, donde  $L$  es la inductancia de la varilla,  $R$  y  $C$  es la resistencia y la capacitancia respectivamente, del suelo [39].

Tanto la reactancia inductiva, como la reactancia capacitiva dependen de la frecuencia  $f$ . Según las Ecuaciones 2.18 y 2.19, entre mayor sea la frecuencia mayor será la reactancia inductiva y menor la reactancia capacitiva.

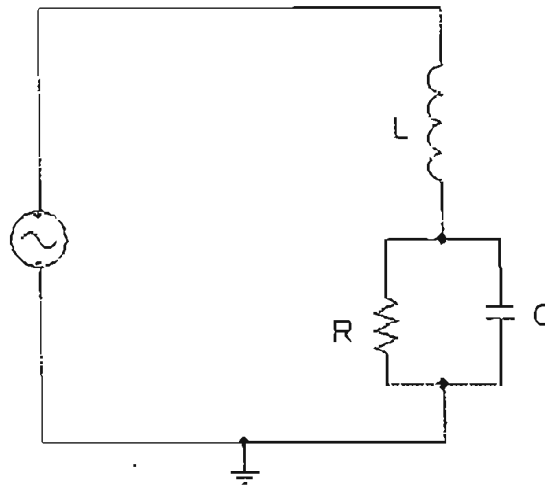


Figura 2.11. Circuito equivalente del sistema de puesta a tierra.

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.18)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.19)$$

A su vez, la impedancia tiene efectos en la corriente y tensión. Cuando al electrodo se le inyecta corriente de alta frecuencia, por ejemplo  $f = 10^7 \text{ Hz}$ , la impedancia tan grande que se genera, provoca una elevación grande de potencial. Por esta misma razón, se crean diferencias de potencial grandes.

### 2.7.1. Condiciones de frontera: Terreno-electrodo.

Las condiciones de frontera se usan para determinar el campo eléctrico de un lado de la frontera, si se conoce el campo del otro lado y para determinar la *refracción* del campo eléctrico a través de los medios. Por lo tanto, considerando el campo eléctrico  $E$  que existe en una región formada por dos materiales diferentes y una superficie gaussiana de espesor infinitamente pequeño, según se muestra en la Figura 2.12,  $E_1$  y  $E_2$  pueden descomponerse como:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{t1} + E_{n1} \\ E_2 &= E_{t2} + E_{n2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Aplicamos la Ecuación (2.7) a la trayectoria cerrada de la Figura (2.12), obtendremos:

$$E_{t1}\Delta W - E_{n1}\frac{\Delta h}{2} - E_{n2}\frac{\Delta h}{2} - E_{t2}\Delta W + E_{n2}\frac{\Delta h}{2} + E_{n1}\frac{\Delta h}{2} = E_{t1}\Delta W - E_{t2}\Delta W = 0 \quad (2.21)$$

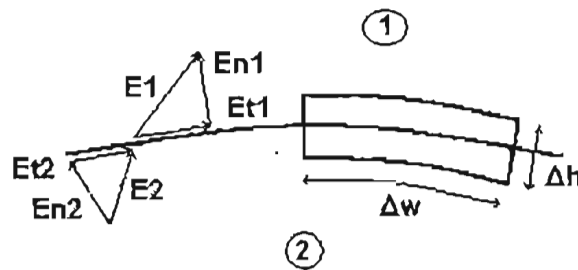


Figura 2.12. Frontera material 1-material 2.

$$E_{t1} = E_{t2} \quad (2.22)$$

La cual establece que las componentes tangenciales de la intensidad del campo eléctrico, son las mismas en ambos lados de la frontera. O sea,  $E_t$  es continuo de un lado a otro de la frontera. Del mismo modo podemos obtener:

$$D_{n1} - D_{n2} = \rho_s \quad (2.23)$$

Si no hay cargas libres en dicha superficie gaussiana  $\rho = 0$  y (2.23) se convierte en:

$$D_{n1} = D_{n2} \quad (2.24)$$

Entonces, la componente normal de  $D$  no experimenta cambios en la frontera. Considerando la ecuación (2.5), podemos escribir:

$$\epsilon_1 E_{n1} = \epsilon_2 E_{n2} \quad (2.25)$$

Indica que la componente normal de  $E$  es discontinua en la frontera. Ahora, consideremos  $E_1$  y  $E_2$  formando los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  con la normal como se ilustra en la Figura 2.13. Si se aplica la ecuación (2.22) se obtiene:

$$E_1 \text{sen} \theta_1 = E_2 \text{sen} \theta_2 \quad (2.26)$$

Igualmente, aplicando la ecuación (2.24), obtenemos:

$$\epsilon_1 E_1 \cos \theta_1 = \epsilon_2 E_2 \cos \theta_2 \quad (2.27)$$

Si dividimos (2.26) entre (2.27), tenemos:

$$\frac{\tan \theta_1}{\epsilon_1} = \frac{\tan \theta_2}{\epsilon_2} \quad (2.28)$$

que se le conoce como la *ley de refracción* del campo eléctrico.

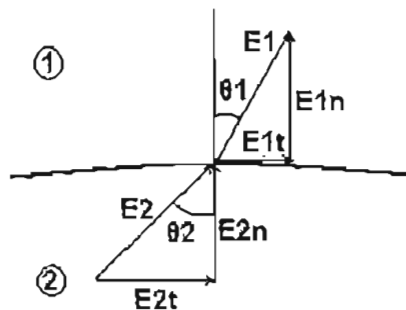


Figura 2.13. Refracción de  $E$  en la frontera.

Un caso interesante para la puesta a tierra es al considerar un medio 1 como materia completamente conductora, es decir  $\sigma_1 \rightarrow \infty$ , y un medio 2 con una conductividad  $\sigma_2$  finita, Figura 2.14. Así que considerando la Ecuación (2.3) para mantener una densidad de corriente finita  $J$  en un conductor perfecto se requiere que el campo eléctrico que exista dentro del conductor tiende a cero porque  $\sigma_1 \rightarrow \infty$ . Si se introducen algunas cargas en el interior del conductor, las cargas se distribuirán en la superficie, anulando el campo eléctrico. Según la ley de Gauss,

Ecuación (2.8), si  $E = 0$ ,  $\rho = 0$ . Entonces un conductor perfecto no puede contener un campo electrostático dentro de él. Aplicando las Ecuaciones (2.22) y (2.23), tenemos respectivamente:

$$E_t = 0 \tag{2.29}$$

$$D_n = \epsilon E_n = \rho_s \tag{2.30}$$

En consecuencia, en condiciones estáticas el campo eléctrico sólo puede ser externo al conductor y normal a la superficie. De lo cual se deduce que en tales condiciones las líneas de corriente entran en dirección normal a la superficie frontera en el medio 2. Estas condiciones se presentan en la frontera entre los electrodos (medio 1) y el terreno (medio 2), es decir, que las líneas de corriente entran normal a la superficie frontera entre electrodo y terreno.

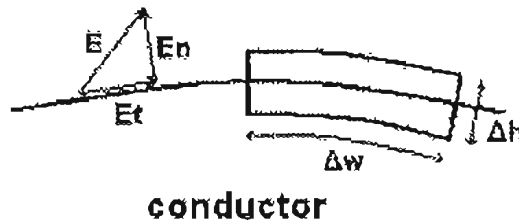


Figura 2.14. Frontera conductor-dieléctrico.

El otro caso importante al tener frontera entre un medio con conductividad finita y un aislador, es decir,  $\gamma_2 \rightarrow 0$ , en estas condiciones las líneas de corriente en la frontera circularán sobre la superficie S. Las condiciones de este caso corresponden al terreno (medio 1) y la atmósfera (medio 2), y la superficie S corresponde a la superficie del suelo.

### 2.7.2 Sistema electrodo-tierra

Al aplicarle al electrodo, en este caso una varilla, el principio de la imagen reflejada, resulta un electrodo gemelo. El electrodo es muy delgado en comparación con su longitud, Figura 2.15.

A la forma geométrica de su campo de corriente se le puede identificar con un elipsoide de rotación, con el eje mayor  $l$  y el eje menor  $r$ , su excentricidad es:

$$l_e = \sqrt{l^2 - r^2} = l - \frac{1}{2} \frac{r^2}{l} \quad (2.31)$$

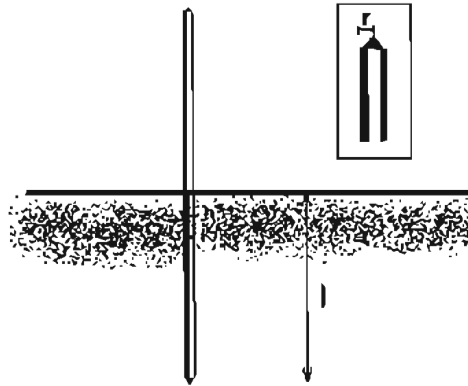


Figura 2.15. Electrodo de puesta a tierra (varilla), aplicándole el principio de la imagen reflejada.

Cuando se le inyecta una densidad de corriente  $J = 2I$ , se genera el elipsoide de rotación, los puntos de igual potencial se encuentran sobre el elipsoide, cuyos puntos focales se hallan en los extremos. Para orientar su campo se usa un sistema de coordenadas elípticas  $u$ ,  $v$  y  $\alpha$  del elipsoide de rotación en ángulo recto, según la Figura 2.16:

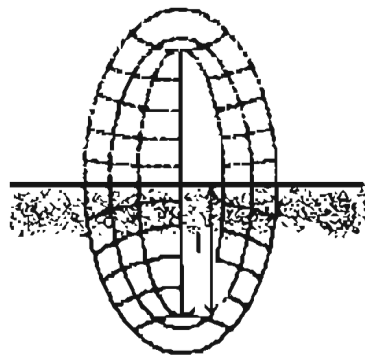


Figura 2.16. Campo alrededor del electrodo.

Debido a la simetría de rotación del campo alrededor del eje del electrodo  $\partial\varphi/\partial\alpha = 0$ , la ecuación de Laplace simplificada en derivadas parciales queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial}{\partial u} \left( \frac{u^2 - l_e^2}{l_e} \frac{\partial\varphi}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial v} \left( \frac{l_e^2 - v^2}{l_e} \frac{\partial\varphi}{\partial v} \right) = 0, \quad (2.32)$$

cuya solución, en consideración de la condición del electrodo:  $\varphi = \varphi_0$ ; para  $u = l$ . En función sólo de  $u$  se reduce a la ecuación diferencial ordinaria siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial u} \left( (u^2 - l_e^2) \frac{\partial\varphi}{\partial u} \right) = 0, \quad (2.33)$$

a partir de la cual, escogiendo una constante  $M$ , en principio arbitraria, se obtiene:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial u} = \frac{M}{u^2 - l_e^2} \quad (2.34)$$

y la condición de convergencia:

$$\lim_{u \rightarrow \infty} \varphi = 0 \quad (2.35)$$

se satisface por medio de la siguiente función potencial:

$$\varphi = -\frac{M}{2l_e} \ln \frac{u + l_e}{u - l_e} \quad (2.36)$$

desarrollando para una distancia  $r$  entre el origen y el punto de referencia, se obtiene:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\sigma l_e} J \ln \frac{u + l_e}{u - l_e}, \quad (2.37)$$

para  $u = l$ :

$$\varphi = \frac{1}{2\pi\sigma l} \ln \frac{2l}{r}, \quad (2.38)$$

La resistencia de propagación será:

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma l} \ln \frac{2l}{r}, \quad (2.39)$$

donde el valor de la resistencia depende de la longitud  $l$  y tienen poca influencia de  $r$  por ser denominador del  $\ln$ . Si sustituimos a la conductividad  $\sigma$  por su inversa, la resistividad  $\rho$ , tenemos:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r}, \quad (2.40)$$

A la Ecuación 2.40 se le conoce como Fórmula general de la resistencia a tierra.

### 2.7.3. Comportamiento de un arreglo de electrodos.

Cuando se le inyecta una densidad de corriente a un arreglo de electrodos, la distribución de corriente dependerá de la simetría e impedancia del arreglo, cuando los electrodos forman un arreglo simétrico, la corriente de cada uno será:

$$I_n = \frac{J}{n}, \quad (2.41)$$

donde  $n$  es el número de electrodos, y el potencial de cada uno de ellos es igual a la suma de su propio potencial mas la contribución de efecto mutuo de los otros electrodos sobre él.



Gracias al entendimiento de los conductores eléctricos, se establecen sistemas de protección basados en la teoría electromagnética, asegurándonos su comportamiento, ya que se basan en leyes físicas.

# 3 ■ Sistemas de protección

Para realizar una protección completa debemos proveer a nuestras instalaciones de un sistema de protección contra rayos, contra sobretensiones y contra inducción electromagnética. Los sistemas de protección deben estar apoyados por un buen sistema de puesta a tierra, así como una adecuada equipotencialidad de los sistemas de protección, con el neutro de la instalación eléctrica y con partes metálicas localizadas en lugares expuestos al personal de las instalaciones del MEXART.

## 3.1. Parámetros del diseño de un sistema de protección

Para el diseño de un sistema de protección, se toman en cuenta factores como la resistividad del terreno, tensión del servicio, espacio disponible, personal y equipo a proteger, etc.

Asimismo, el conocimiento del nivel de riesgo es una información importante para determinar la protección más adecuada y lo determina el valor de corriente de la descarga atmosférica, de manera que entre más elevada sea, mayor será el nivel de riesgo. Conjuntamente, depende del tipo de estructura a proteger. Se protegen zonas de alto riesgo por el manejo de materiales explosivos, combustibles como en los depósitos de gasolina y derivados del petróleo, o químicos de esas características; zonas de manejo de altas tensiones como en las subestaciones eléctricas; edificaciones y lugares en donde hay muchas personas, como edificios públicos y privados, hospitales, hoteles, cines, teatros y lugares de servicio turístico, comercios y centros comerciales. Además, todos los lugares requieren de una protección en sus instalaciones eléctricas. En este caso, es necesario conocer el nivel de riesgo para instalaciones de interés científico como el MEXART.

### 3.1.1. Nivel cerámico.

El nivel cerámico es un índice que indica las zonas sobre la superficie terrestre con igual número de truenos, en un intervalo de tiempo, cabe mencionar que si solo se ven relámpagos no se cuentan. Una línea isocerámica es la que une estas zonas y constituyen la referencia sobre la probabilidad de caída de rayos. Basándose en las líneas isocerámicas, se realiza una carta cerámica. Para el territorio de México, la CFE (Comisión Federal de Electricidad), publica un mapa que describe el nivel cerámico, Figura 3.1.

El riesgo por impactos directos de rayos  $R$  y el método de selección del nivel de protección es una combinación del nivel cerámico con las consecuencias que provocaría, la Ecuación 3.1 describe la frecuencia anual media de impactos directos de rayos esperada en una estructura.

$$R = (NC)(A)(C) \tag{3.1}$$

Donde los parámetros son el nivel cerámico  $NC$ , con la información que proporciona evaluamos la probabilidad de caída de rayo sobre una región, para lo cual determinamos  $A$  la superficie equivalente de captura, o sea, la superficie que tendría la misma probabilidad de ser alcanzada, y además  $C$  es el coeficiente relacionado con el entorno, Tabla (3.1).

Localización de la estructura	C
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altas	0.5
Estructura rodeada de estructuras más bajas.	0.75
Estructura aislada.	1
Estructura aislada situada sobre una colina.	2

Tabla (3.1). Localización de la estructura a proteger [2].

En el caso de superficies aisladas se supone un área equivalente  $A$  obtenida por la intersección entre la superficie del suelo y una línea pendiente 1:3 que pasa por el punto más alto de la estructura, Figura 3.2.

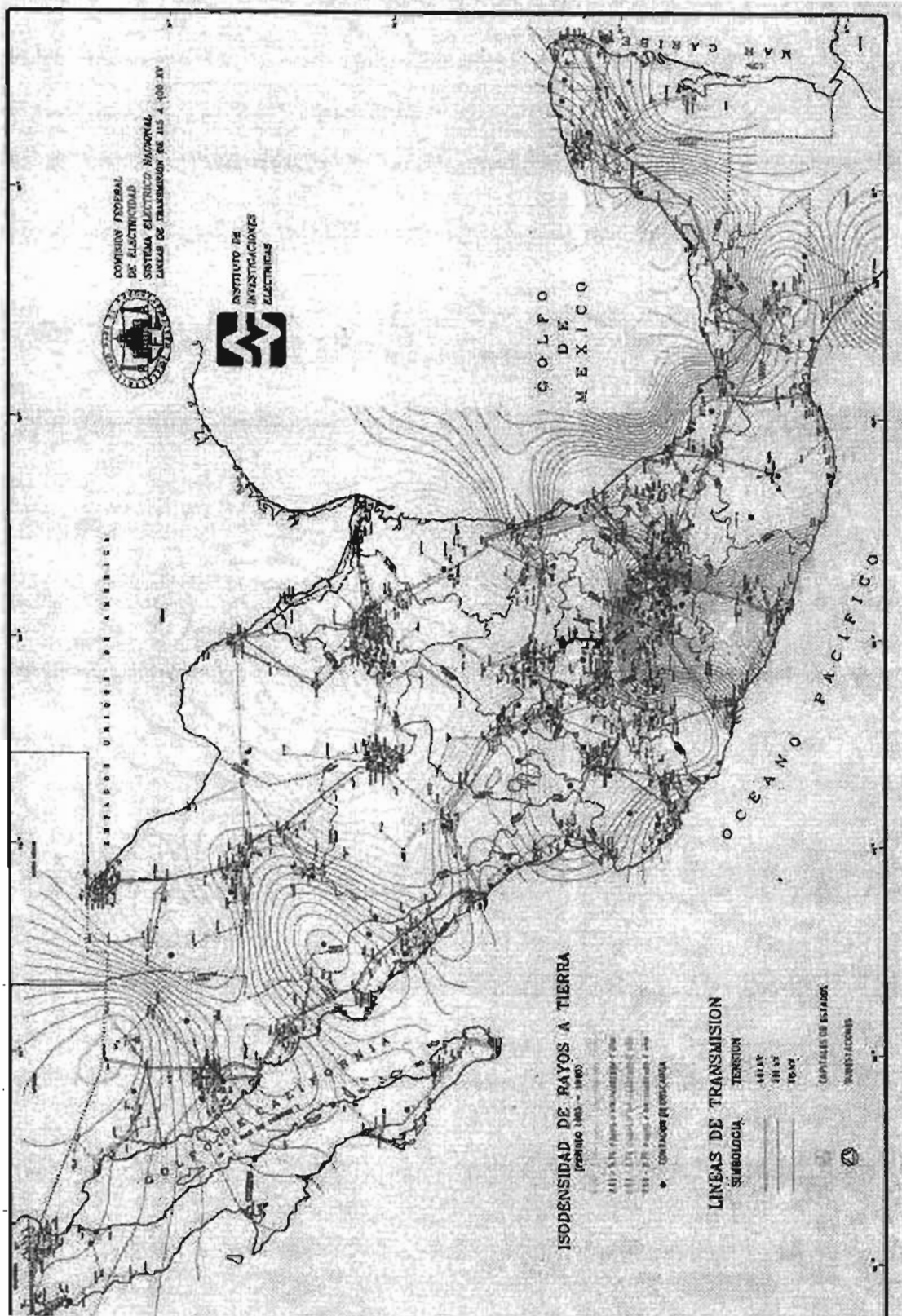


Figura 3.1. Mapa que describe el nivel cerámico de México

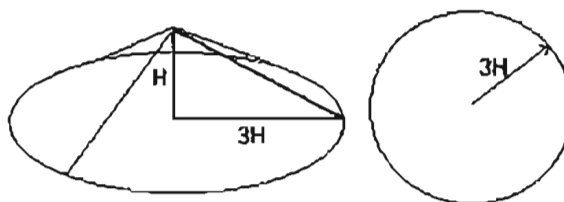


Figura 3.2. Área equivalente para superficies aisladas.

Si son estructuras rectangulares, con longitud  $L$ , ancho  $W$ , altura  $H$ , Figura 3.3. El valor está dado por la Ecuación 3.2, describe una suma de áreas producto del concepto anterior.

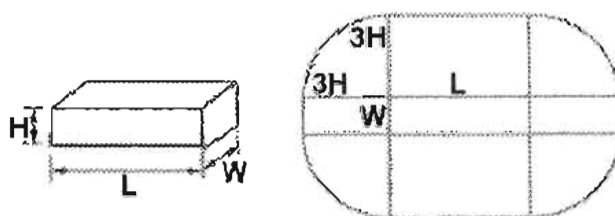


Figura 3.3. Área equivalente para superficies rectangulares [2].

$$A = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2 \tag{3.2}$$

Para estructuras donde hay un edificio prominente y otros más bajos, Figura 3.4, calculamos  $A$  con la Ecuación 3.3.

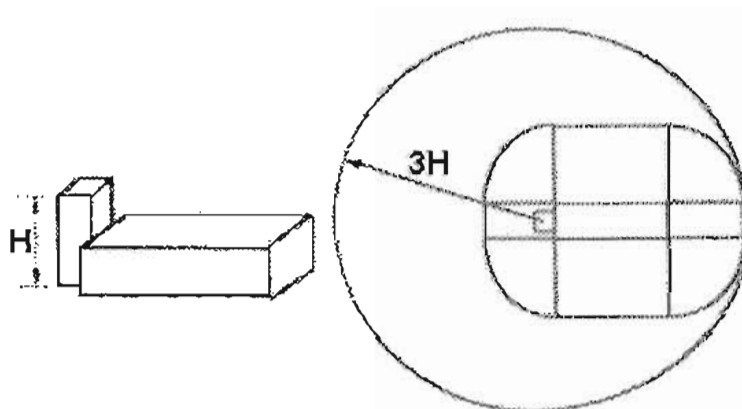


Figura 3.4. Área equivalente para superficies con estructuras prominentes.

$$A = 9\pi H^2 \tag{3.3}$$

Cuando la estructura prominente no cubre las estructuras mas bajas se superponen las áreas, Figura 3.5.

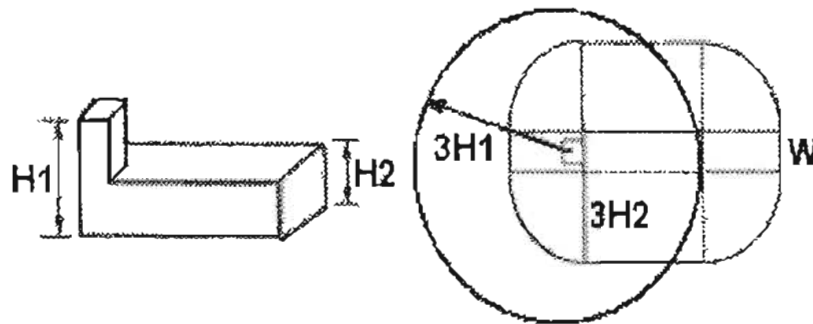


Figura 3.5. Área equivalente superponiendo las superficies [2].

Por otro lado, el riesgo aceptable se calcula con la Ecuación (3.4).

$$R_a = \frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{C_1} \tag{3.4}$$

Donde  $1.5 \cdot 10^{-3}$  representa las pérdidas en las estructuras aceptables y el valor del coeficiente  $C_1$  lo encontramos con la Ecuación (3.5) y teniendo en cuenta los conceptos que describen los coeficientes  $C_1$  correspondientes al tipo de construcción para  $C_2$ , Tabla (3.2), al contenido de la estructura para  $C_3$ , Tabla (3.3), a la ocupación de la estructura, para  $C_4$ , Tabla (3.4) y a las consecuencias sobre el entorno para  $C_5$ , Tabla (3.5).

		Techo		
		Metal	Común	Inflamable
Estructura	Metal	0.5	1	2
	Común	1	1	2.5
	Inflamable	2	2.5	3

Tabla 3.2. Tipo de techo para cálculo de  $C_2$  [2].

Contenido de la estructura	C3
Sin valor o no inflamable	0.5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

Tabla 3.3. Contenido de la estructura para cálculo de C<sub>3</sub> [2].

$$C_1 = (C_2)(C_3)(C_4)(C_5) \tag{3.5}$$

Ocupación de la estructura	C4
No ocupada	0.5
Ocupada normalmente	1
De difícil evacuación o riesgo de pánico	3

Tabla 3.4. Ocupación de la estructura para cálculo de C<sub>4</sub> [2].

Consecuencias	C5
Sin necesidad de continuidad en el servicio y algún impacto en el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y algún impacto en el entorno	5
Consecuencias para el entorno	10

Tabla 3.5. Consecuencias de un rayo para cálculo de C<sub>5</sub> [2].

Para la selección del nivel de protección a partir de los dos valores calculados previamente, el riesgo  $R$  se compara con el riesgo aceptable  $R_a$ . Si  $R \leq R_a$ , el sistema de protección contra rayos directos es opcional, pero si  $R > R_a$ , se debe instalar un sistema de protección, [2].

Cabe mencionar que el procedimiento anterior para justificar la instalación de un sistema de protección, es propuesto por la bibliografía disponible respecto al tema, ver bibliografía [2]. Sin embargo ningún lugar está exento de los daños por impacto directo, por lo que el criterio para determinar la protección variará.

### 3.2. Protección contra descargas atmosféricas.

La cantidad real de energía eléctrica transferida desde la nube a tierra, aunque es solamente por una fracción de segundo, es capaz de causar daños. Los daños

pueden ser mecánicos por la destrucción de elementos, debido a que al caer el rayo en una estructura húmeda, eleva la temperatura del camino donde desciende, al grado que evapora el agua, se expande su volumen y aumenta la presión, busca salidas, al no encontrar suficientes salidas, se crea una explosión [4]. O también, daños térmicos con sus manifestaciones como son incendios y fusión de metales. Son más importantes los daños fisiológicos, ya que en los seres vivos, dependiendo de la magnitud de la corriente y del tiempo, puede causar quemaduras, parálisis, e incluso, la muerte. Y finalmente los daños eléctricos, generando tensiones de paso y de contacto, por la circulación de la corriente de descarga, la producción de corrientes inducidas en conductores o piezas metálicas próximas a la corriente de descarga.

### **3.2.1. Tipos de protección contra descargas.**

La magnitud de los daños que se producen por una descarga atmosférica dependen de la conductividad eléctrica de los cuerpos que la reciben; si se tratan de cuerpos conductores los daños son mínimos y casi siempre limitados a los puntos de entrada y salida de la descarga. Por lo que, el principio fundamental en la protección es recibir la descarga atmosférica y proporcionar un medio por el cual pueda entrar a tierra sin causar daños o pérdidas. Para ello, actualmente hay 2 sistemas utilizados para la protección externa contra el rayo: el sistema de pararrayos y el blindaje.

#### **3.2.1.1. Pararrayos**

Es una punta metálica que provoca la excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, de tal manera que aumenta la probabilidad de que la descarga incida en su zona de influencia y drena a tierra la corriente del rayo, Figura 3.6.

Siguiendo el concepto, se han desarrollado nuevas técnicas, aun no están normalizadas, pero comercialmente están disponibles. Tal es el caso del Pararrayos de múltiples puntas, aseguran que en caso de recibir una descarga atmosférica, la corriente producida la divide haciendo que el desahogo de corriente a tierra sea más suave. Otro de estos dispositivos es el Pararrayos de corona, porque produce el efecto corona y se basa en una punta a la que se instala un aro metálico equipotencial y una bobina metálica o excitador toroidal, montado sobre un aislante. Hay también, Pararrayos ionizantes con características semejantes. Sin embargo,



cabe mencionar que para aplicar cualquier dispositivo se debe realizar un estudio previo con el que se determinan sus ventajas y efectividad.

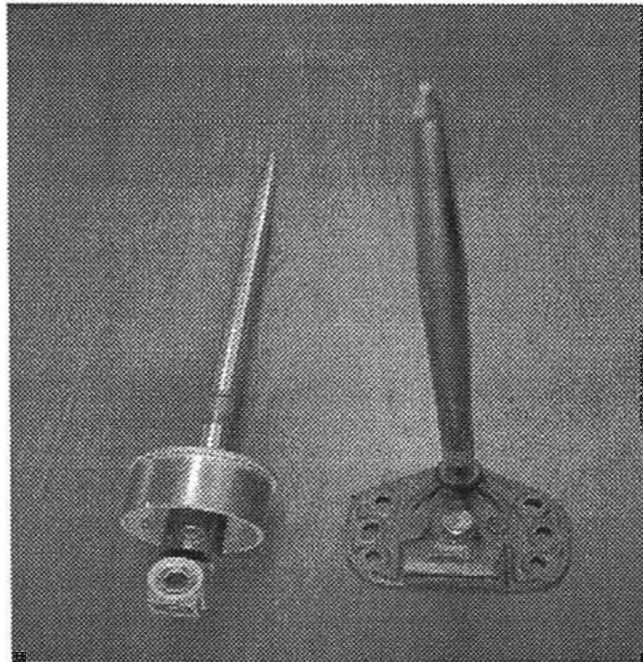


Figura 3.6. Base y punta.

#### 3.2.1.2. Blindaje

Protección formada por uno o múltiples conductores aéreos, frecuentemente de acero galvanizado, situados sobre la estructura a proteger.

#### 3.2.1.3. Jaula de Faraday

Cuando los criterios de protección lo determinan, se instalan varias puntas y se unen con cable conductor formando una malla, cuenta también con una red de bajadas de conductores para drenar la corriente a tierra. El sistema es llamado jaula de Faraday.

Cabe aclarar, que aunque se le denomina jaula de Faraday, no se trata de la técnica que se utiliza para filtrar ondas electromagnéticas de determinada frecuencia, basada en la Ley de Gauss, anteriormente descrita. En las instalaciones del Radiotelescopio se aplica esta técnica, específicamente en el cuarto de control y en los laboratorios, ver plano IEP-5.

### 3.2.2. Especificaciones que regulan la protección contra descargas atmosféricas.

Complementando la Norma Oficial Mexicana, el diseño de la protección del Radiotelescopio contra descargas atmosféricas se basó en la *NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*.

La NFPA especifica las características necesarias para un sistema de protección eficiente contra descargas atmosféricas. Comienza por determinar el tipo de material usado para el sistema, recomienda un material de alto punto de fusión, generalmente cobre. Además debe ser resistente a la corrosión o tener un grado aceptable contra ella. No utilizar materiales de acoplamiento electrolítico que en presencia de humedad acelere la corrosión.

Asimismo, la distancia entre las puntas aéreas en el techo no debe exceder en 6 m entre ellas, además las puntas deben colocarse a 0.6 m de la orilla del techo y deben ser mayores a 0.254 m del objeto o área a proteger. Su distribución depende del tipo de techo y su inclinación, según la Figura 3.7.

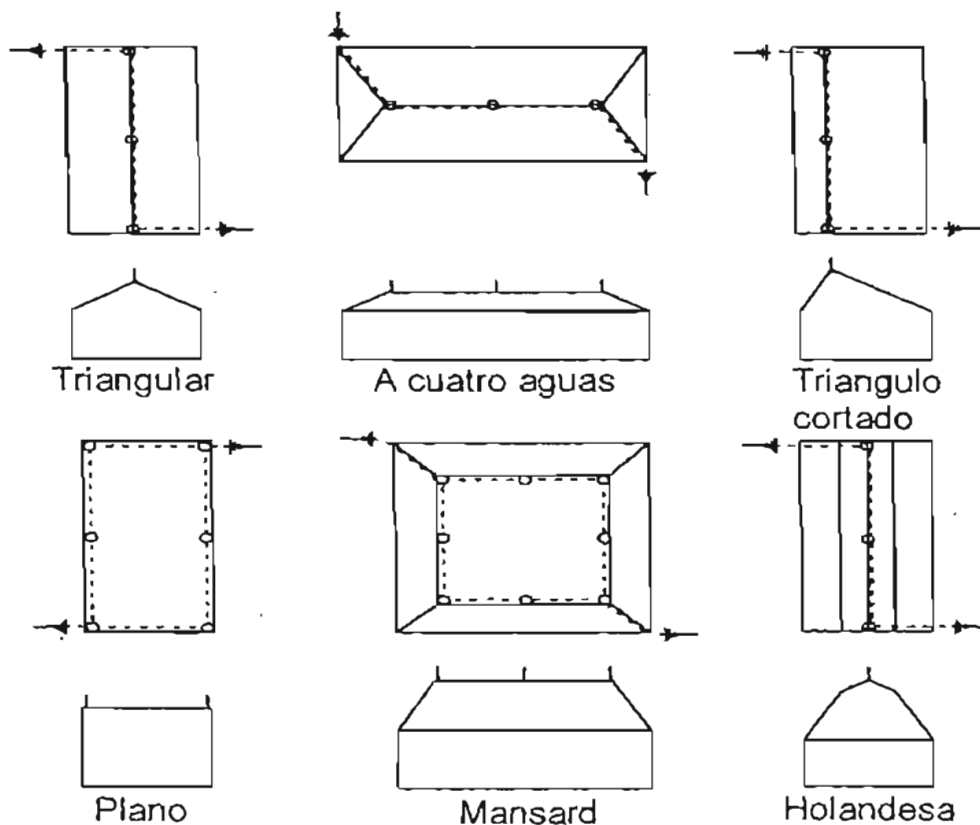


Figura 3.7. Distribución de puntas para diferentes tipos de techos [2].

Las conexiones entre puntas y conductores deben ser mínimas y su trayectoria lo más sencilla posible evitando curvas pronunciadas y ángulos rectos, no se debe doblar un conductor más de  $90^\circ$ , ni tener un radio de curvatura menor que 0.203 m, Figura 3.8. Asimismo, tiene que haber por lo menos 2 bajadas a tierra y el número máximo dependerá del perímetro a proteger, una cada 30 m.

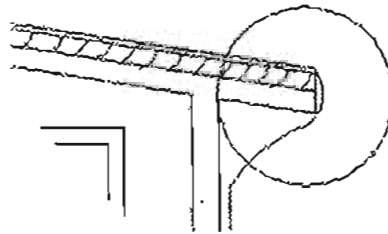


Figura 3.8. trayectoria de bajada.

Siguiendo todas las disposiciones anteriores se garantiza un área protegida que se puede determinar por varios criterios, sin embargo, el más usado por sus características es la esfera rodante. Bajo dicho criterio, la zona de protección la determina una esfera de radio  $R$ , tangente a dos terminales, ya sea una punta y conductor de unión o para estructuras que excedan el radio de la esfera, tangente a una terminal aérea y tierra siendo de consideración los impactos laterales, Figura 3.9.

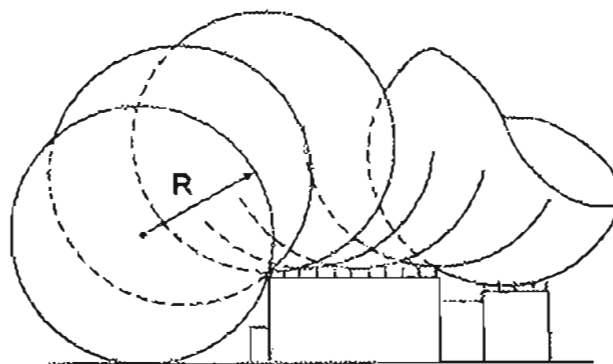


Figura 3.9. Concepto de la esfera rodante, la zona de protección, [2].

Como se mencionó en el capítulo anterior, cuanto menor sea la corriente de descarga que se presente, menor será el radio  $R$  de la esfera, aumentando el

tamaño de la zona expuesta a un impacto. Dicha corriente se puede determinar mediante frecuencia de ocurrencia de corrientes de descargas atmosféricas de la Figura 3.10. Con el modelo electrogeométrico del rayo determinamos la relación entre la intensidad de la corriente del rayo y la región de alcance del extremo del líder, usando la Ecuación (2.16) y usando la Figura (2.9) podemos encontrar el nivel de protección más adecuado, Tabla (3.6).

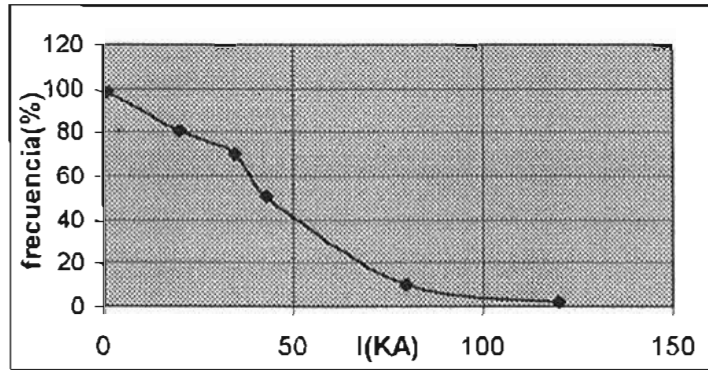


Figura 3.10. Frecuencia de ocurrencia de corrientes de descargas atmosféricas & magnitud de corriente.

Una representación gráfica del concepto de la esfera rodante se muestra en la figura 3.11, basado en la altura de la punta sobre la estructura protegida de 7.5 m, 15 m, 22.5 m 30 m o 46 m, se muestra la distancia horizontal protegida medida radialmente  $d$ , con un radio específico de la esfera rodante  $R = 46$  m, para estructuras mas bajas, esta distancia también se puede calcular con la Ecuación 3.6.

Nivel de Protección	SD(m)
I	20
II	30
III	46
IV	60

Tabla 3.6. Nivel de protección.

$$d = \sqrt{h_1(300 - h_1)} - \sqrt{h_2(300 - h_2)} \tag{3.6}$$

donde  $h_1$  es la altura de la punta y  $h_2$  altura más baja, en este nivel de riesgo la diferencia de alturas debe ser de 46m o menos.

Por otro lado, debemos tomar en cuenta las disposiciones de la *Dirección General de Obras de la UNAM*, las cuales especifican el material a usar.

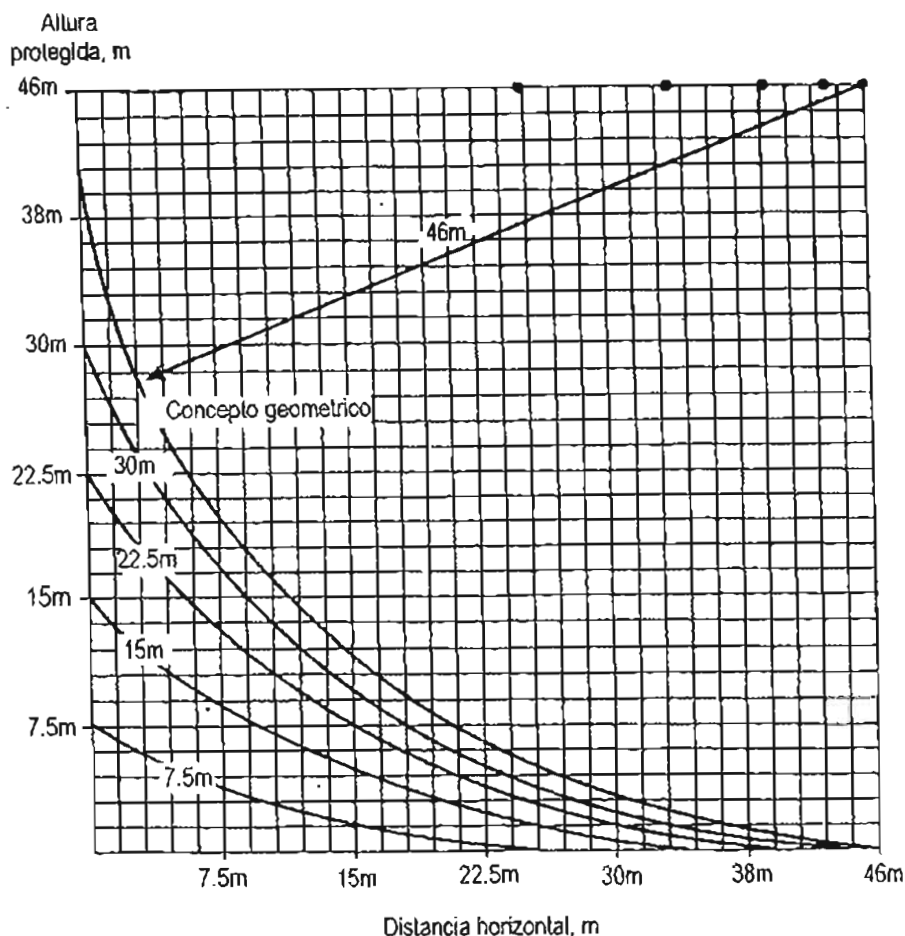


Figura 3.11. Zona de protección [2].

Cabe mencionar aspectos importantes del sistema que se deben tener presentes, como contemplar que el conductor de unión debe estar compuesto por hilos para facilitar la disipación de calor y favorecer el enfriamiento del conductor. También, elementos de fijación, como abrazaderas. La resistencia total desde el pararrayos hasta el electrodo será de menos de  $0.03 \Omega$ . Todo elemento por el cual circula corriente provoca un campo magnético alrededor del mismo, se deberá prestar atención entonces en la ubicación del instrumental eléctrico y electrónico. De igual

manera, se debe tomar en cuenta que los efectos de la corrosión se pueden reducir con revestimientos adecuados o conectores especiales.

### 3.3. Protección contra inducción electromagnética.

El rayo deja el aire ionizado (plasma), el cual es un medio adecuado para la circulación de la corriente que se induce, de manera que se debe suministrar un camino de menor resistencia que drene éstas corrientes, antes de que causen daños.

Por otro lado, al circular la corriente del rayo a través del conductor de bajada al sistema de puesta a tierra, se induce campo electromagnético que a su vez induce corriente, que también debe drenarse a tierra. Entonces, se usa un blindaje, protección formada por múltiples conductores aéreos, frecuentemente de cobre ó acero galvanizado, alrededor de la estructura a proteger. De manera, que se interponga en el camino de dicha corriente y la drene a tierra.

### 3.4. Protección contra sobretensiones.

Mientras que un impacto de una descarga atmosférica puede tener consecuencias catastróficas para seres vivos o estructuras, los daños por causas indirectas suelen ser más numerosos con cuantiosas pérdidas económicas. En el punto de entrada a la tierra, un rayo puede inducir corrientes en un radio de hasta 1 km dependiendo de su potencia y de las características del suelo [9].

Una sobretensión transitoria de origen atmosférico tiene niveles de energía muy elevados y duración muy corta ( $<100 \mu\text{s}$ ), comparado con la frecuencia de red 60Hz (un periodo de 16.6 ms). La onda que representa una intensidad de descarga tipo rayo es del tipo pulso y se representan por una forma de onda 8/20  $\mu\text{s}$ . El tiempo de subida a un valor máximo, es de 8  $\mu\text{s}$  y su tiempo de descenso hasta el 50% es de 20  $\mu\text{s}$ , Figura 3.12.

También, el rayo puede caer directamente en líneas aéreas eléctricas, telefónicas e informáticas, antenas y conductores de conexión a tierra, propagándose la sobretensión a la largo de varios kilómetros, elevando el potencial de tierra como consecuencia de la corriente que circula por el terreno. Por ejemplo,

un rayo de 10 kA impactando en un conductor de fase de una línea desarrolla una sobretensión de:

$$V = \frac{ZI}{2} = \frac{400(10)}{2} = 2000KV$$

Habiendo supuesto la impedancia de onda de la línea de 400 Ω, el 2 tiene que ver con que la sobretensión se propaga hacia ambos lados de la línea. Los 2000 KV seguramente provocarán fallas de aislamiento en la línea.

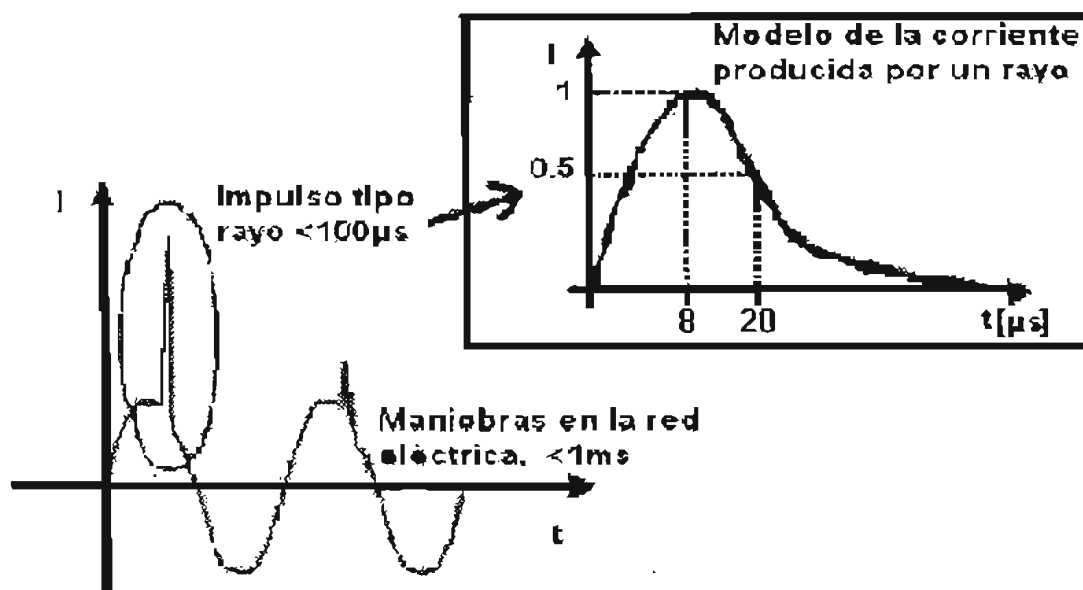


Figura 3.12. Magnitud y duración de las sobretensiones, características de una descarga atmosférica y por maniobras en la red eléctrica.

Asimismo, al existir una descarga eléctrica atmosférica sobre un objeto a nivel de suelo o entre nubes, se producen campos electromagnéticos, los cuales pueden inducir corrientes sobre los conductores de circuitos eléctricos. Otro tipo de sobretensiones transitorias se deben a la operación de relevadores de protección contra sobrecorrientes, durante la conmutación electrónica, estos equipos dejan energía inducida atrapada en el circuito capaz de generar sobretensiones,

Otras causas pueden ser tierras deficientes o en mal estado y la apertura de contactos eléctricos, por el arco producido cuando los contactos están separándose. Se deben también a corrientes que se producen en instalaciones de baja tensión a

causa de encender electrodomésticos, estas pueden derivarse a tierra a través de otros equipos produciéndoles averías o su total destrucción.

Por otro lado, al existir un descenso rápido de tensión o una descarga directa en el lado de alta tensión de un transformador, se inyecta corrientes altas, que pueden exceder la capacidad de resistencia del equipo dentro del circuito o producir sobretensiones que fluyen a través de la impedancia de los conductores primarios, capaces de pasar del primario al secundario del transformador por efecto capacitivo, hasta llegar a los circuitos de baja tensión. Igualmente, las maniobras con banco de capacitores, usados para corregir el factor de potencia también causan sobretensiones, a frecuencias menores a 1kHz y está definida con un tiempo de subida de  $0.5\mu s$ .

Por lo anterior, la exposición a sobretensiones se puede clasificar en tres niveles, Figura 3.13: Exposición baja.- sistemas que se encuentran geográficamente en áreas con niveles de descargas eléctricas bajas o pequeñas, Exposición media.- sistemas que se encuentran geográficamente en áreas reconocidas con niveles medios y altos de descargas eléctricas y Exposición alta.- sistemas que están expuestos a una incidencia alta de sobretensiones, por los factores mencionados anteriormente, ya sea por severas descargas eléctricas y/o por interrupciones inusuales.

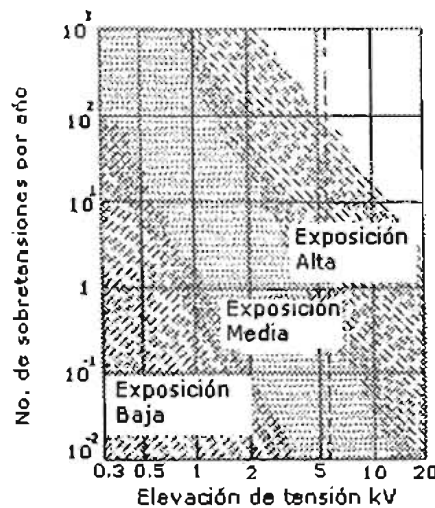


Figura.3.13. Niveles y ocurrencias de las sobretensiones.



La frecuencia de ocurrencia y el nivel de descargas de las sobretensiones pueden calcularse con el nivel cerámico, con la naturaleza del sistema de distribución y estudios del terreno.

La mayor parte de las amplitudes elevadas por sobretensiones son causadas por descargas eléctricas atmosféricas, por consecuencia, el lugar geográfico y la época del año afectan el tipo de ocurrencia. También, la calidad de potencia del lugar, puede ayudar a determinar la probabilidad de que se presenten los transitorios. Como resultado, entre menor sea la intensidad de la sobretensión es más probable que ocurra. Según la Figura 3.14 el número de eventos de sobretensiones decrece con el incremento de la tensión, a un nivel de potencia de  $V^\alpha$ , donde  $\alpha$  varía de 1 a 4. Donde se tiene una relación de  $N=V^{-3}$ , N es el número relativo de sobretensiones. Así, un análisis probabilístico se requiere para determinar la amplitud de cresta esperada para una localidad específica, de esta forma se puede determinar un margen y nivel para la inmunidad del equipo.

Las sobretensiones con amplitudes elevadas de corta duración pueden perturbar a los equipos cuando estén operando y las sobretensiones de menores amplitudes de larga duración depositan niveles altos de energía.

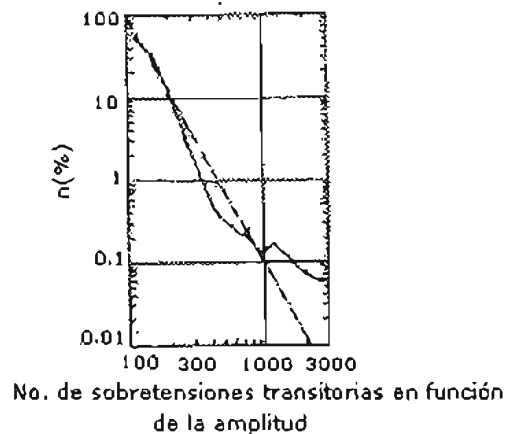


Figura 3.14. Incidencia contra la intensidad de las sobretensiones, la gráfica muestra un comportamiento con diferentes intervalos donde cambia de dirección: de 100V a 400V, 400V a 1000 V, de 1000 V a 1200 V y de 1200 V en adelante.

En los sistemas eléctricos la mayor parte de los daños por sobretensiones los detecta la carga, por lo tanto, dichos valores de sobretensiones deben reducirse a

valores tolerables, mediante aparatos de protección contra sobretensiones, que deben estar en condiciones de drenar las corrientes elevadas sin destruirse. Estos aparatos se fabrican con varistores y diodos supresores. Para la aplicación correcta de estos dispositivos se debe identificar el lugar, dentro o fuera de edificios o estructuras, su nivel de exposición, así como las condiciones de operación de los circuitos sin protección y las formas de onda de las sobretensiones que son concurrentes en esas condiciones, caracterizadas por su amplitud y duración.

Los circuitos electrónicos con que cuenta la antena trabajan con niveles bajos de señal, por lo que, reaccionan a pequeños impulsos de corta duración, una sobretensión, ocasionaría interrupciones en el servicio y en el funcionamiento. Además, los aparatos de medición y control que tiene el cuarto de control son muy sensibles.

#### **3.4.1. Normas y especificaciones que regulan la protección contra sobretensiones.**

La NOM recomienda un adecuado calibre de conductores tierra y neutro, conexiones adecuadamente unidas y supresores de ondas y de ruido. Con estas medidas se pueden reducir, principalmente las sobretensiones que causan problemas y errores en los datos de equipo electrónico. También sugiere la protección en salas con equipo de cómputo mediante cableado adecuado, puesta a tierra y blindaje de las líneas de alimentación.

Complementando a la NOM, tenemos al libro esmeralda de la *IEEE* que además de analizar aspectos específicos de las sobretensiones, recomienda el uso de supresores de sobretensiones, así como otras soluciones para disturbios generales.

### **3.5 Puesta a tierra**

Un Sistema de puesta a tierra asegura que durante el paso de la corriente a tierra, sus efectos no dañen a los seres vivos, instalaciones o equipos eléctricos. Estos sistemas se pueden clasificar por el concepto a proteger. Así, tenemos un sistema de tierra física, que es una conexión de seguridad diseñada para proteger equipos eléctricos y electrónicos de disturbios o transitorios. Consta de conductores que van hacia los electrodos localizados bajo el terreno inmediato de las instalaciones con el

fin de que la corriente se disperse en el terreno subyacente, donde se supone que tenemos 0 V. También tenemos tierra aislada o electrónica que se encarga de ofrecer "0" lógico a los circuitos y componentes electrónicos. Y finalmente, tenemos una puesta a tierra para el confinamiento de descargas atmosféricas.

Se debe garantizar una equipotencialidad entre sistemas, con el propósito de cancelar gradientes de potencial entre ellos, que induzcan corrientes dañinas. Por lo que se deben unir todas las instalaciones utilizadas para la conducción eléctrica y todo aquello que se considere como conductor que esté en contacto con dichas instalaciones que puede ser susceptible de establecer un arco.

Por otro lado, como primer paso para realizar un diseño de una puesta a tierra, es la investigación de las condiciones del terreno con base en mediciones eléctricas a cierta profundidad para determinar la resistividad.

La resistencia a tierra de un electrodo está determinada por la resistencia del electrodo, la resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo y la resistencia del terreno, que presenta el terreno al paso de la corriente eléctrica, desde su superficie exterior hacia las inmediaciones de la tierra. Las primeras 2 resistencias son muy pequeñas y para propósitos prácticos pueden despreciarse, [3]. De esta manera, el cálculo de la resistencia a la propagación de todo electrodo se realiza con un valor de resistividad del terreno.

### **3.5.1. Métodos para medir resistividad.**

Para realizar la medición de la resistividad del suelo existen varios métodos, pero en todos los casos es necesario circular una corriente en el suelo. En caso de que el terreno sea muy grande es necesario hacer varias mediciones en diferentes partes del terreno.

#### **3.5.1.1. Método de Wenner.**

Este método es conocido también como de los cuatro electrodos. La teoría de este método es la base de todos los métodos para medir la resistividad del suelo. La medición se efectúa como se muestra en la Figura 3.15.

Para la configuración del método de Wenner, la circulación de corriente en el arreglo de electrodos, se realiza por los electrodos de los extremos C y se mide el potencial en los electrodos centrales P teniendo un arreglo C P P C.

La separación  $a$  entre electrodos generalmente es de 10 m,  $b$  es la profundidad 50 cm y  $R$  es la lectura del medidor de resistencia en  $\Omega$ . Para tener resultados más confiables se recomienda cumplir con la Ecuación 3.7.

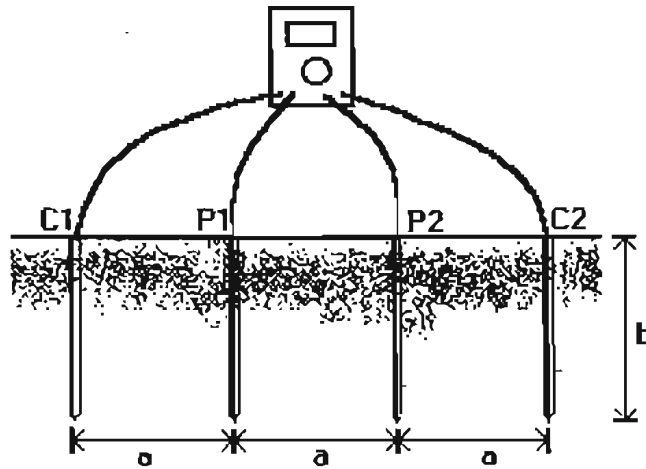


Figura 3.15. Disposición de electrodos en el método de Wenner, [8].

$$\frac{a}{b} \geq 20 \tag{3.7}$$

Para calcular la resistividad  $\rho$  en  $\Omega$  m utilizamos la Ecuación 3.8.

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \tag{3.8}$$

Pero si  $a \gg b$ , la formula se simplifica, Ecuación 3.9.

$$\rho = 2\pi aR \tag{3.9}$$

Es importante mencionar que el método Wenner es para suelo homogéneo, se pueden hacer mediciones de resistividad con diferentes distancias  $a$  entre electrodos y el valor de la resistividad será el mismo en todos los casos. Si el terreno es heterogéneo la medición de resistividad cambiará con la separación de los electrodos, [8].

### 3.5.1.2. Método Lee

En el método Lee se introducen en el suelo 5 electrodos, entre los electrodos de los extremos circulará una corriente y se medirá la caída de potencial en los electrodos A y B o en B y C, Figura 3.18.

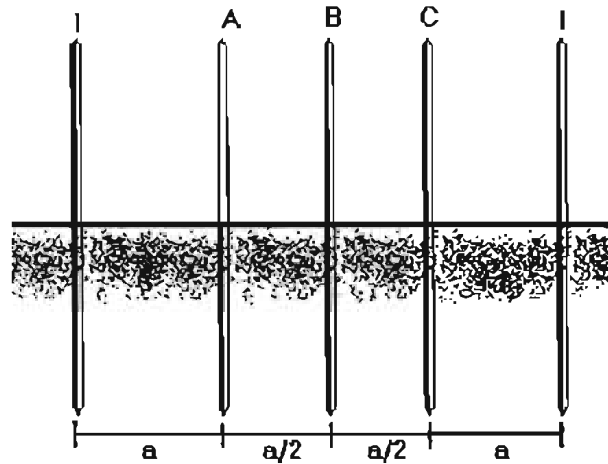


Figura 3.18. Arreglo de electrodos en el método Lee, [8].

Partiendo del método base y la Ecuación 3.9, la resistividad estará dada por:

$$\rho = 4\pi a R_{AB} \quad (3.10)$$

$$\rho = 4\pi a R_{BC} \quad (3.11)$$

Este método tiene la ventaja de poder detectar si el suelo no es homogéneo en la parte superficial, en tal caso, las dos mediciones de caída de potencial serán diferentes.

### 3.5.1.3. Método del electrodo central

Este método es una variante del método de Wenner, pero ofrece la ventaja de que cuando hay que efectuar varias mediciones sólo se mueven dos electrodos, mientras que en el método de Wenner se mueve todo el arreglo, Figura 3.19.

Para este método la resistividad está dada por la Ecuación (3.12).

$$\rho = \frac{2\pi a(a+b)R}{b} \tag{3.12}$$

Tanto para este método, como para el método de Wenner, podemos tener diferentes arreglos de electrodos, Tabla 3.7.

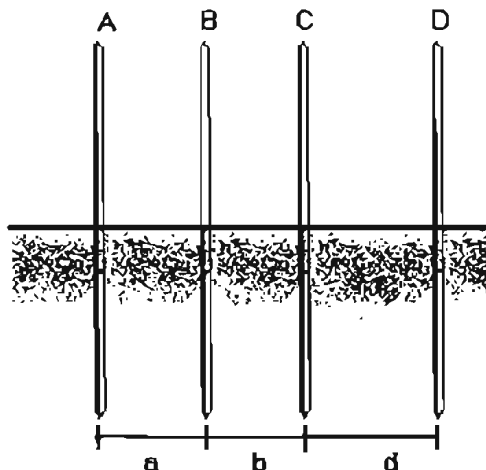


Figura 3.19. Arreglo de electrodos en el método del electrodo central [8].

### 3.5.2. Método de la caída de tensión.

Este método es para medir resistencia, utiliza 4 electrodos, por dos de ellos se hace circular una corriente, desde un electrodo auxiliar (C2) a un electrodo de prueba (C1), se mide la caída de tensión entre un segundo electrodo auxiliar (P2) y otro de prueba (P1), Figura 3.16.

El procedimiento implica mover el electrodo auxiliar y conforme se desplaza dicho electrodo se toman lecturas de resistencia, para después hacer una gráfica de resistencia contra distancia. El valor de la resistencia a tierra se obtendrá cuando la gráfica muestre un comportamiento constante de resistencia. Si la curva no muestra éste comportamiento quiere decir que la distancia entre electrodos no es suficiente.

Ante el inconveniente de este método de tomar varias mediciones, actualmente hay equipos que proporcionan una lectura directa. Estos equipos cuentan con tres bornes de prueba, con cables calibrados a una distancia fija y se conectan de la siguiente manera: El borne de color verde corresponde al electrodo de prueba (C1 y P1) el amarillo al electrodo auxiliar (P2) y el rojo al electrodo de auxiliar (C2), Figura 3.17.

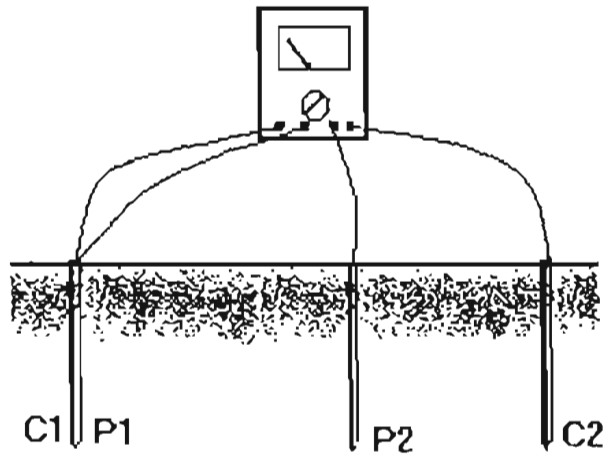


Figura 3.16. Disposición de electrodos en el método de la caída de tensión.

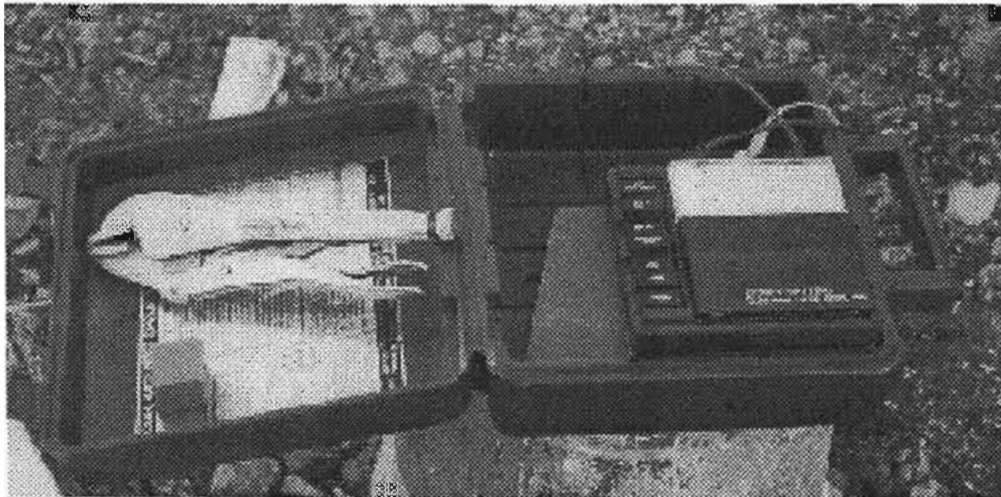


Figura 3.17. Medidor de resistencia de tierra.

### 3.5.3. Métodos para bajar resistividad.

Para lograr una resistencia baja en suelos de alta resistividad se utilizan materiales que modifiquen sus características. El material ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y buen conductor eléctrico. Anteriormente se recomendaba agregar sal al suelo, sin embargo, perdía efectividad después de 5 a 7 años por perderse la concentración original, además de que el electrodo se encontraba en un ambiente corrosivo con sus problemas inherentes. Actualmente se utilizan otros compuestos químicos.

Arreglo de electrodos	Resistividad
CPPC PCCP	$\rho = 2\pi aR$
CCPP PPCC	$\rho = 6\pi aR$
PCPC PCPC	$\rho = 3\pi aR$

Tabla 3.7. Arreglo de electrodos, [8].

Tal es el caso de la bentonita, es una arcilla consistente de un mineral, un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de aumentar hasta 13 veces su volumen seco. Consiguiendo una resistividad de 2.5  $\Omega\text{m}$  con humedad del 300%. Aparte de la bentonita, se utilizaban otros métodos químicos, por ejemplo: en un registro hecho de tubo de albañal, junto con el electrodo se colocaba sulfato de magnesio o sulfato de cobre, y otros compuestos químicos patentados, actualmente se utiliza GEM. Este método es efectivo donde hay poco espacio. También se puede excavar una zanja alrededor de la varilla y llenarla con los químicos antes mencionados, diluyendo con agua. La primera carga dura unos 2 o 3 años y, las posteriores aún más, por lo que el mantenimiento es menos frecuente con el tiempo.

#### 3.5.4. Tipos de sistemas de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra se pueden clasificar dependiendo del tipo de electrodo que usan en sus arreglos. A continuación se mencionarán los dos tipos principales.

##### 3.5.4.1. Electrodo

Es un conductor encargado de unir dos masas, la primera compuesta por los circuitos eléctricos y cargas conectadas y la segunda por el suelo de nuestro planeta. Pueden tener forma de varillas, tubos o placas de metal. Cuando hay dos electrodos o más conectados se puede formar un arreglo tipo anillo.



### 3.5.4.2. Malla

Es otro arreglo de conductores unidos en varios puntos de tal manera que la corriente tenga varios caminos, evitando diferencias de potencial altas, comúnmente se aplica en instalaciones de media y alta tensión. El parámetro principal para diseñar la malla es la distancia entre los conductores.

### 3.5.5. Normas y especificaciones que regulan una puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra han sido reglamentados y normalizados, la NOM en el artículo 250 trata lo referente a la puesta a tierra.

La NOM especifica las características necesarias para un sistema de puesta a tierra eficiente. Determina el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra tomando en cuenta la sección transversal de los conductores de alimentación. Para dichos conductores el código de colores, le asigna el color verde a su aislamiento.. Cuando el transformador de alimentación de la acometida esté situado fuera del edificio, se debe hacer como mínimo otra conexión de tierra desde el conductor puesto a tierra de la acometida hasta el electrodo de puesta a tierra, del transformador. Asimismo, se deben poner a tierra los envolventes y canalizaciones metálicos de los conductores y el equipo de la acometida.

Por otro lado, las canalizaciones, envolventes, estructuras y otras partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1.8 m como mínimo de los conductores de bajada de las varillas pararrayos o deberán interconectarse cuando la distancia a los conductores sea inferior a 1.8 m.

El electrodo de puesta a tierra debe ser lo más accesible posible y estar preferiblemente en la misma zona que la conexión del conductor del electrodo de puesta a tierra al sistema. Para formar los arreglos se pueden utilizar conectores atornillables, de presión, soldables o exotérmicos, que tienen que soportar la corriente de falla. Uno de estos arreglos es un anillo de tierra que rodea a un edificio o estructura, está en contacto directo con la tierra a una profundidad bajo la superficie no inferior a 0.8m que conste como mínimo en 6m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal no inferior a  $33.62 \text{ mm}^2$  (2 AWG). Debe tenerse presente que no está permitido utilizar electrodos de aluminio. Sin olvidar a las abrazaderas u otros accesorios para puesta a tierra deben estar aprobados para su uso general sin protección o protegerse contra daño físico.

La utilización de químicos también está normalizada, por ejemplo la bentonita es aceptada por la NOM. Asimismo, habrá protección mecánica, registros a base de tabique y concreto, tubos de albañal que servirán también para realizar mantenimiento al efectuar mediciones y saber el estado del sistema.

Otras normas vigentes que regulan estos aspectos son la IEC, Libro verde IEEE, NFPA y disposiciones de la Dirección General de Obras de la UNAM. Estas reafirman las especificaciones anteriores.

Conociendo los puntos anteriores, podemos describir el sistema de puesta a tierra:

1. Bus de tierra por bajada para la comprobación de la resistencia de puesta a tierra
2. Un elemento protector a nivel usuario en los últimos metros de la acometida del conductor, en nuestro caso, tubo de PVC verde.
3. Electrodo de puesta a tierra.
4. Unión equipotencial de las tomas de tierra y circuito general de tierras.
5. Conductores de tierra, unen al elemento por proteger con el electrodo.
6. Conductores colectores, unen a los electrodos para que trabajen en paralelo, ver Figura 3.20.
7. Aparatos contra sobretensiones instalados en tableros.

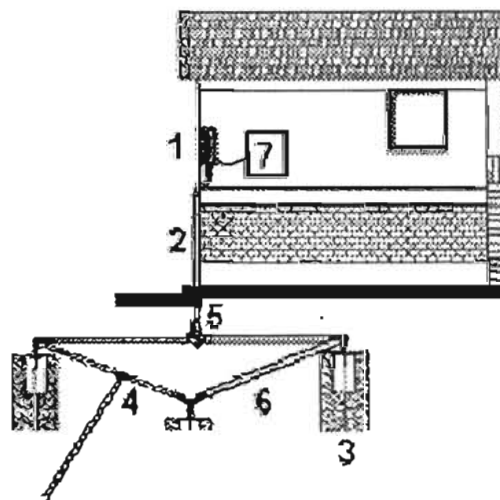


Figura 3.20. Elementos de un sistema de puesta a tierra.

# 4. ■ Diseño de un sistema de protección

La protección en cualquier actividad o ámbito de la vida es indispensable. Dada la importancia del observatorio, se requieren instalaciones especiales de protección contra riesgos eléctricos. Es necesario diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas, un sistema de protección contra sobretensiones, una protección contra inducción electromagnética y un sistema de puesta a tierra.

## 4.1. Sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Una descarga atmosférica directa en el MEXART traería riesgos en el personal que esté laborando, así como, pérdidas económicas por daños en el equipo, el cual es muy sensible y en su mayor parte está compuesto por dispositivos electrónicos, Figura 4.1.



Figura 4.1 Amplificadores electrónicos.

El primer aspecto que se debe calcular es el nivel de riesgo, y para ello comenzaremos usando el nivel cerámico (NC). Para esta ubicación la CFE, indica un NC de 3.08 a 5.75 rayos/km<sup>2</sup>/año, ver Figura 4.2, para efecto del cálculo se tomará el valor medio 4.415 rayos/km<sup>2</sup>/año. Además para calcular el área equivalente de incidencia de rayos del observatorio podemos considerar el conjunto de instalaciones como un elemento aislado, por lo tanto, tenemos el coeficiente relacionado con el entorno C=1, según la Tabla 3.1.

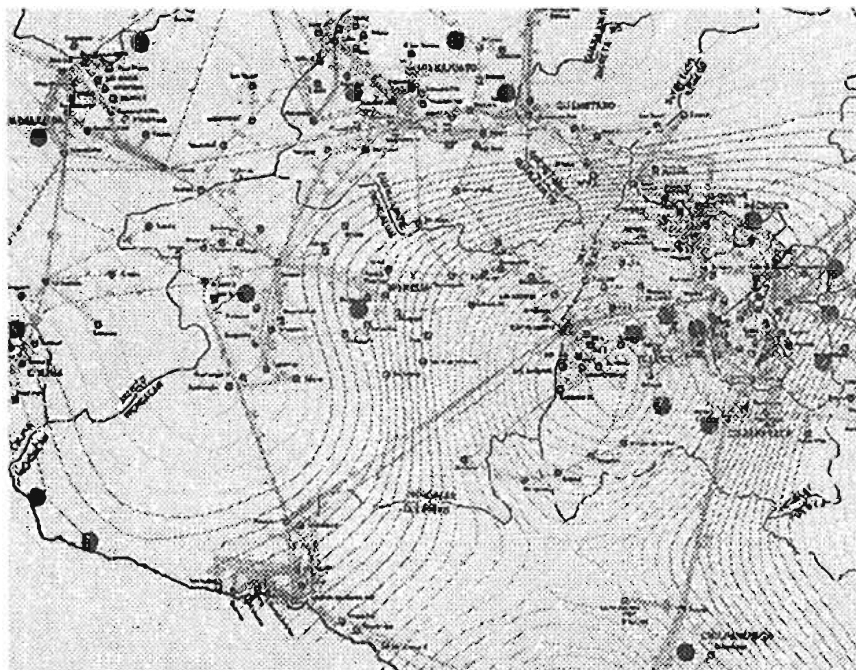


Figura 4.2. Nivel cerámico de 3.08 a 5.75 para la zona del observatorio.

El área del predio del observatorio comprende 0.03 km<sup>2</sup>. Dentro de las instalaciones el edificio prominente es el cuarto de control, por lo tanto se investiga su influencia recurriendo a la superposición de áreas para encontrar el área equivalente. En la Figura 4.3 se observa que el área de las instalaciones completas cubre el área equivalente del cuarto de control, por lo tanto, calculando el área con la ayuda del programa AUTOCAD 2004 tenemos 0.037 km<sup>2</sup>.

Después de determinar los valores, se sustituye en la Ecuación (3.1) para calcular el riesgo por impactos directos de rayos *R*.

$$R = (NC)(A)(C) = \left( 4.415 \frac{\text{rayos}}{\text{km}^2 \text{año}} \right) (0.037 \text{ km}^2) (1) = 0.16 \frac{\text{rayos}}{\text{año}} \quad (4.1)$$

Por otro lado, el riesgo aceptable se calculará con la Ecuación (3.4) y teniendo en cuenta los conceptos que describen los coeficientes  $C_i$  de las Tablas 3.3-3.5, tenemos a un  $C_2=1$  correspondientes al tipo de construcción y techo común, un  $C_3=5$  para contenido de la estructura de gran valor, las instalaciones están ocupadas normalmente, lo que implica  $C_4=1$  y la necesidad de continuidad en el servicio para  $C_5=5$ .

$$C_1 = (C_2)(C_3)(C_4)(C_5) = (1)(5)(1)(5) = 25 \quad (4.2)$$

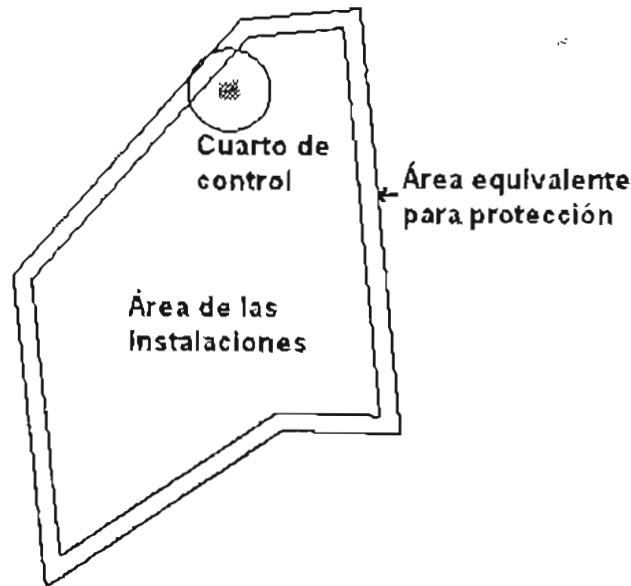


Figura 4.3. Área equivalente.

Entonces podemos expresar un valor de riesgo aceptable  $R_a$  en la Ecuación (3.5).

$$R_a = \frac{0.0015}{C_1} = \frac{0.0015}{25} = 0.00006 \quad (4.3)$$

El riesgo  $R$  se compara con el riesgo aceptable  $R_a$ .

$0.16 > 0.00006$ , entonces  $R > R_a$

El valor del riesgo es mayor que el riesgo aceptable, por lo que se debe instalar un sistema de protección.

Después de determinar la necesidad de un sistema de protección, seleccionaremos el nivel de protección. Considerando la corriente de descarga más frecuente  $I = 10KA$  según la Figura 3.10 y sustituyéndola en la Ecuación (2.16), tenemos:

$$SD[m] = 10I^{\frac{2}{3}}[KA] = 10(10)^{\frac{2}{3}} = 46.4m \quad (4.4)$$

Con el modelo electrogeométrico del rayo se determina la relación entre la intensidad de la corriente del rayo y la región de alcance del extremo del líder, la cual nos indica que cuando el líder está a 46.4m del extremo mas alto; en este caso la punta, incrementa el campo eléctrico y consecuentemente ioniza el *canal continuo* entre la nube y la punta que va a permitir que la corriente del *rayo de retorno* comience en la punta y se propaga hacia el líder descendente. De esta manera se garantiza que el rayo se desarrollará por el camino especificado, preparado para soportar sus efectos y no sobre alguna persona o instalación que pueda dañar. Y entonces, podemos encontrar el nivel de protección más adecuado con la Tabla 3.6, en este caso le corresponde el nivel III.

Estableciendo lo anterior se tienen los parámetros necesarios para comenzar con el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas directas.

En el sistema en estudio se sugiere utilizar elementos hechos principalmente de cobre, porque ofrece mayor conductividad y un grado adecuado de resistencia a la corrosión debido a las condiciones del lugar. La terminal aérea no debe ser menor a 0.254 m del objeto o área a proteger, entonces se usarán puntas de 0.3 m. Asimismo el cable para la unión de las puntas y para las bajadas debe ser 0.01372 m de diámetro de 28 hilos.

#### 4.1.1. Protección contra descargas atmosféricas para los edificios.

A continuación se describe la protección contra descargas eléctricas atmosféricas directas basada en normas oficiales, para los edificios que comprenden las instalaciones del radiotelescopio: Cuarto de control, dos laboratorios, aula magna,

ocho cubículos para investigadores, dos casas habitación para investigadores y estudiantes, cuarto de máquinas y taller. Ver referencias 21-25.

Para la distribución de puntas en los techos de los edificios, se toma en cuenta que son techos de tipo triangular, según la Figura 3.3 implica que las puntas se distribuyan en forma lineal en la parte más alta del techo. Los edificios contarán con una punta cada 6m y en el borde no debe haber mas de 0.6 m. Además, el número de bajadas de cada estructura depende del perímetro que comprenden sus techos, por lo menos dos bajadas, e incrementándose el número de ellas, una cada 30 m de perímetro.

El aula magna y cuarto de máquinas tienen 67.7 m, entonces para poner una bajada por cada 30 m de perímetro tenemos:

$$\frac{67.7m}{30m} = 2.26bajadas \quad (4.5)$$

Por lo tanto, se requieren 3 bajadas. Ver el número y la distribución de puntas y de bajadas en el plano IEP-01 y catálogo de conceptos en el Apéndice 9.1 y 9.2 respectivamente.

Los laboratorios son dos edificaciones que tienen 67.7 m de perímetro, Figura 4.4. La necesidad de protección se incrementa debido a la presencia de personal laborando. Ver plano IEP-02, apéndice 9.1.

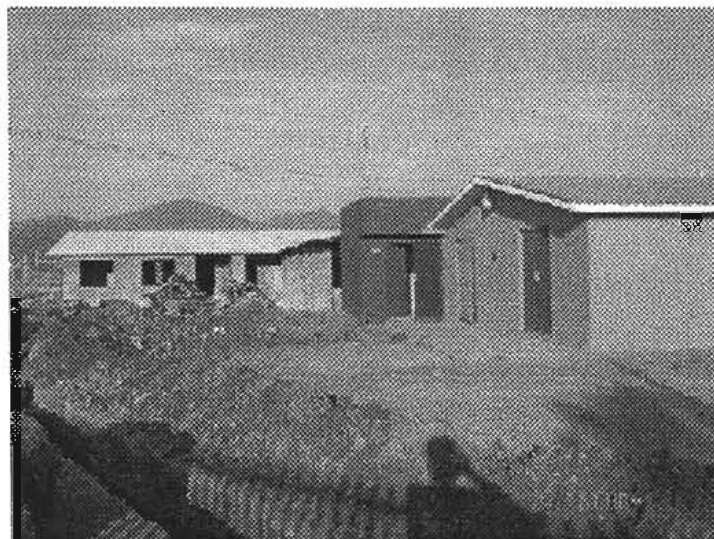


Figura 4.4 Laboratorios.

Los cubículos y casas habitación de investigadores son una edificación con proyección de la techumbre en forma de "L", según lo muestra el plano IEP-02. Para el diseño de la protección contra descargas atmosféricas se agrupó junto con los laboratorios existentes, debido a que se encuentran pegados, incluso, la vista superior muestra éstos edificios como una sola construcción. Juntos tienen 128 m de perímetro, por lo tanto, se requiere de 5 bajadas a tierra.

El cuarto de control es un edificio de 35.4 m de perímetro, lo que requiere poner 3 puntas y 2 bajadas a tierra, por norma. En la Figura 4.5 se observa que se encuentra aislado de los demás edificios. Plano IEP-03.

El taller consta de 47.9 m de perímetro, está funcionando, requiere 4 puntas y 2 bajadas a tierra, según se muestra en el plano IEP-03 anexo.

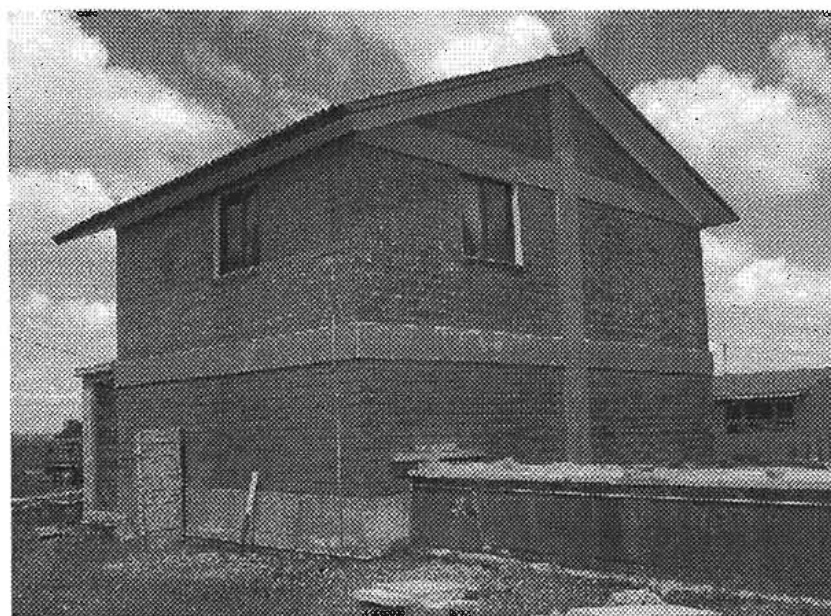


Figura 4.5 Cuarto de control

#### 4.1.2. Protección contra descargas atmosféricas para la antena.

La antena consta de un arreglo planar construido en alambre de Cu calibre 14 AWG de 8200m<sup>2</sup>, para protegerla, se estudiaron instalaciones similares. Es una extensión muy grande que no se puede proteger en su totalidad utilizando métodos tradicionales y se debe encontrar la mejor solución aceptando el menor riesgo posible.



Combinaremos la protección de puntas Faraday con el blindaje, en el perímetro.

En los lados este y oeste las puntas Faraday de 0.3 m se colocarán sobre los pilares, cada 24 m, las bajadas de las puntas se conectarán a los perfiles tubulares. Este arreglo protegerá contra inducción ocasionada por descargas en lugares cercanos.

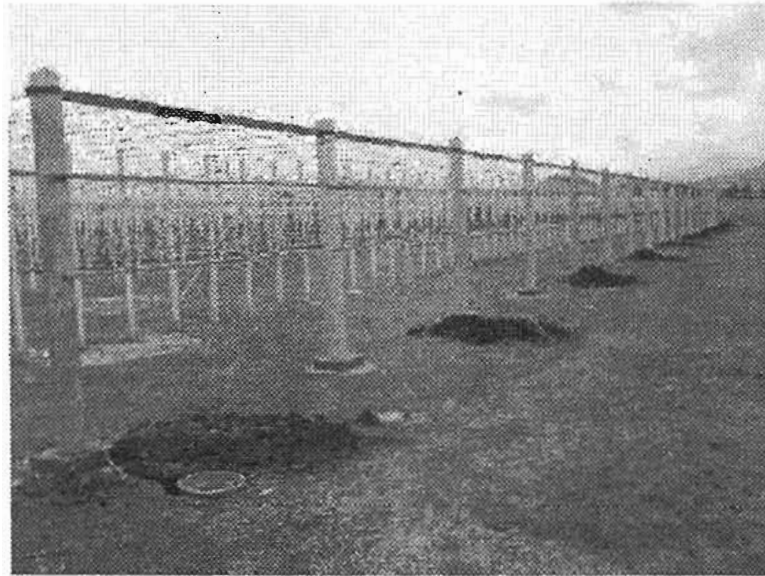


Figura 4.6 Antena lado este

En los lados norte y sur, se toma en cuenta que no se pueden poner dispositivos metálicos por arriba de un ángulo de  $20^\circ$  a partir de sus extremos y respecto a la horizontal de la antena, entonces, se proponen 4 mástiles de acero de 2.40 m con puntas Faraday para protección contra inducción electromagnética, colocados cada 39 m, unidos con Cobre desnudo 6 AWG.

Además, se pondrá el blindaje de acero calibre 1/0 sobre un perímetro que comprenda la antena, sobre estructuras de 6m, a una separación de 10 m de su perímetro. Las estructuras de 6m llevaran puntas Faraday de 0.3 m. Mástiles y estructuras deberán fijarse sobre bases de concreto sobre el nivel del suelo, de manera que no modifique las alturas. Ver plano IEP-04, muestra el sistema para proteger la antena. El área de protección se calculará con el criterio de la esfera rodante, Figura 4.7.

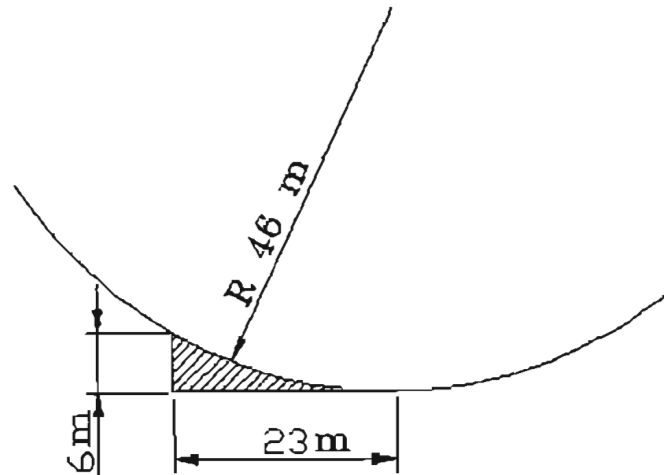


Figura 4.7 Área de protección bajo el criterio de la esfera rodante con el hilo de guarda a 6m.

#### 4.2. Sistema de protección contra sobretensiones.

Conociendo las instalaciones que deben protegerse y los niveles de sobretensión a los que estarán expuestas, se diseña el sistema de protección contra sobretensiones.

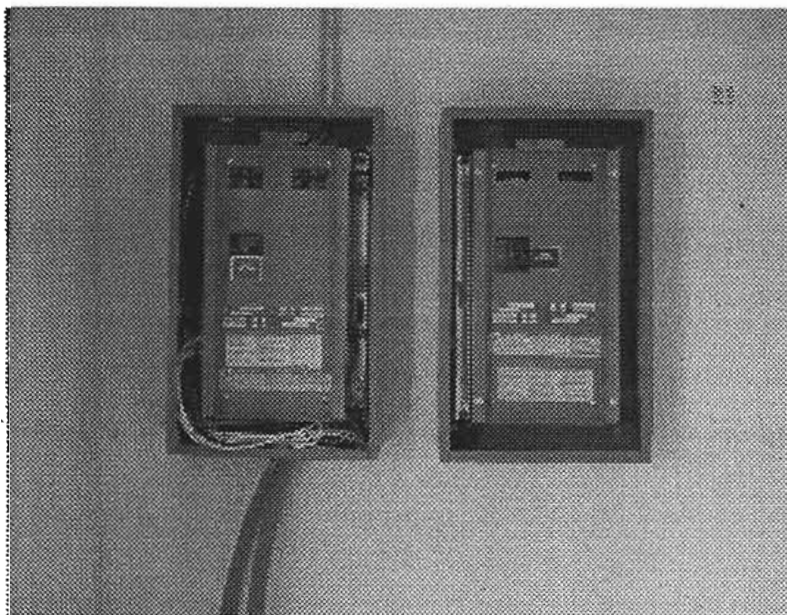
Se establece que el equipo con que cuenta el radiotelescopio es sensible, principalmente el ubicado en el cuarto de control y laboratorios, además la zona tiene 3.9 rayos/(Km<sup>2</sup>año) de nivel cerámico y daños que dejaron eventos pasados, manifiesta la necesidad de colocar un sistema de protección contra sobretensiones.

Debido a que las instalaciones no cuentan con subestación, el primer dispositivo contra sobretensiones se conectará en paralelo en el tablero principal, que puede estar expuesto a una sobretensión de 1.2/50  $\mu$ s-8/20  $\mu$ s, 10kV y una sobrecorriente de 10kA o más, ocasionadas por rayos o por maniobras en el sistema eléctrico, ver Figura 3.12. Si hay una una sobretensión, drenará la corriente de falla a tierra.

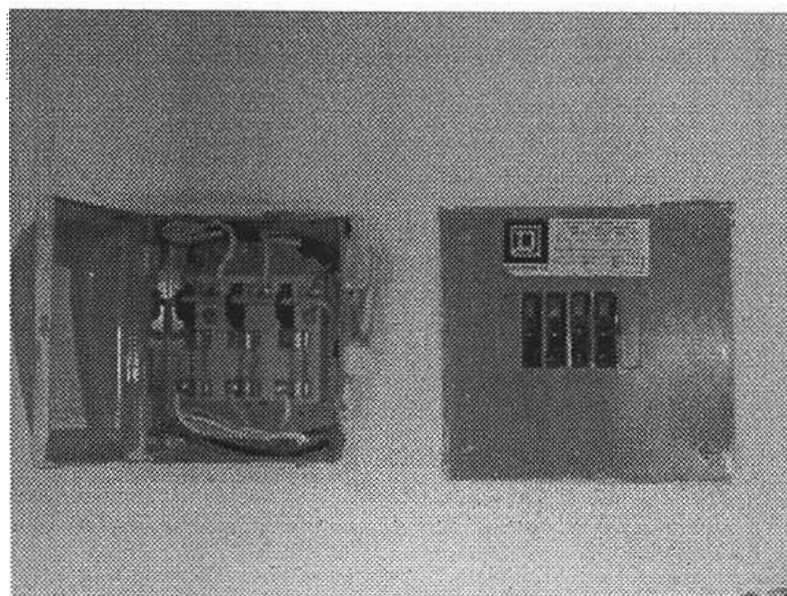
Enfocándonos en la protección en líneas de alimentación se propone instalar supresores de transitorios en el tablero secundario de distribución de zona AR localizado en el cuarto de control, Figura 4.8, y en el tablero secundario LR localizado en el laboratorio existente, Figura 4.9. La figura 4.10, muestra el diagrama de conexión de los supresores.

El equipo protector, después de un estudio en el mercado, pertenece a la marca ERICO el cual es reconocido con el nombre de SERVICE ENTRANCE

PREMIUM, Figura 4.11, está diseñado para proteger equipos muy sensibles, se caracteriza para proteger especialmente cuartos de cómputo, equipos médicos y, lugares de telecomunicaciones. El cual tiene la capacidad de manejar una corriente de corto circuito 200kA, su modo de protección en los conductores es en L-N, L-G y N-G avalado por UL.



**Figura 4.8** Tablero de energía ubicado en el cuarto de control



**Figura 4.9.** Tablero de energía ubicado en el cuarto de cómputo

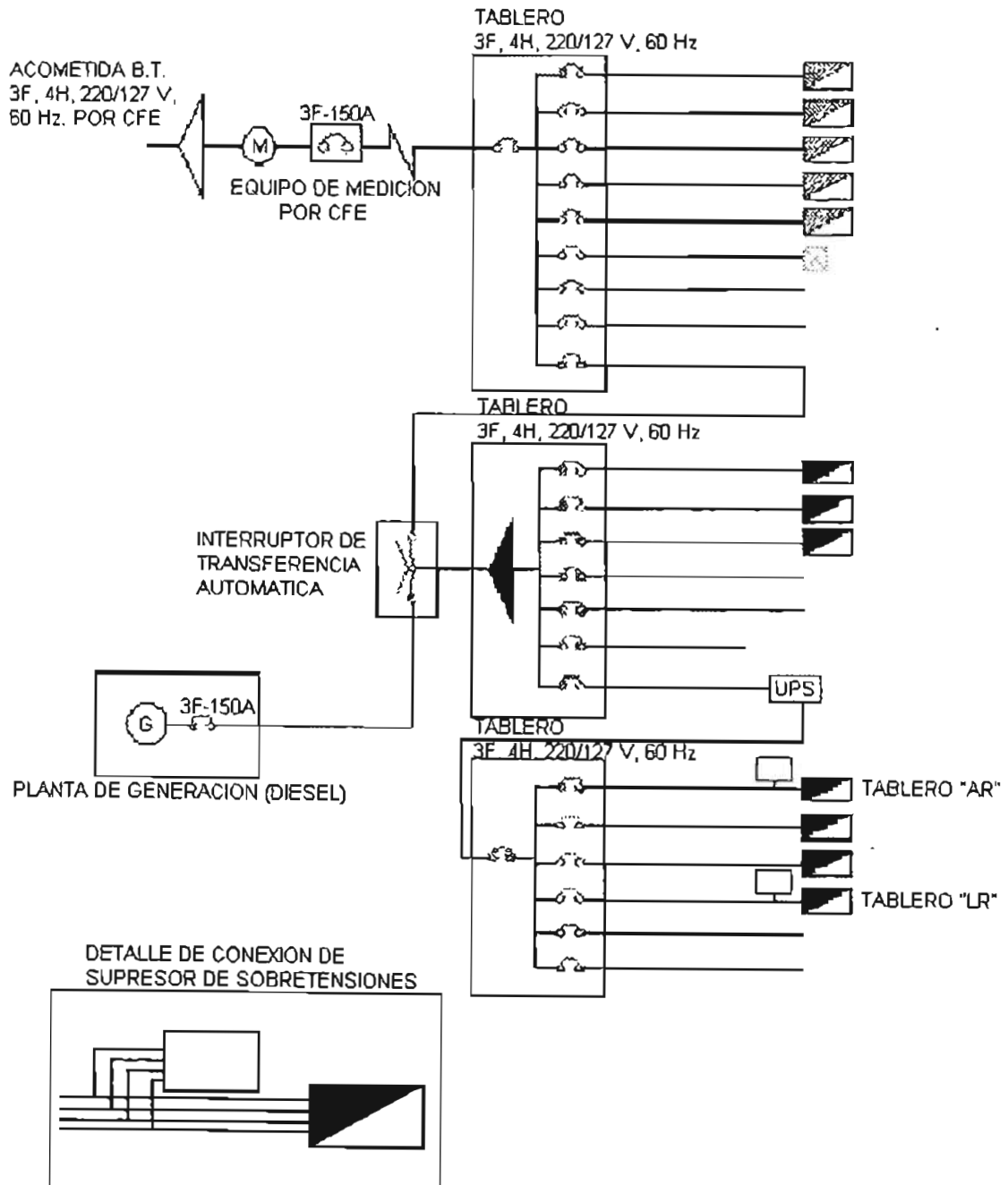


Figura 4.10. Diagrama de conexión del equipo para sobretensiones.



Figura 4.11. Equipo para sobretensiones

### 4.3. Sistema de puesta a tierra.

El punto de partida para diseñar un sistema de puesta a tierra es conocer la resistividad del terreno.

#### 4.3.1. Medición de resistividad.

Debido a la extensión del terreno a proteger, se verifica que no existan variaciones sensibles en la homogeneidad del subsuelo que se analiza, efectuando mediciones en diversas zonas. Para estas mediciones se utilizó el método de la caída de tensión utilizando como principal herramienta un Medidor de resistencia de puesta a tierra y con la ayuda de una varilla de cobre, se tomaron las mediciones mostradas en la Tabla 4.1. Para el cuarto de control, laboratorios y sala de cómputo se utilizó una varilla de 0.015875 m (5/8 de pulgada) enterrada previamente como puesta a tierra provisional. Para la antena fue necesario cambiar el calibre de la varilla de prueba, pues en estos casos no existía una varilla enterrada,  $d = 3/4" = 0.01905$  m,  $L = 0.5$  m, se realizaron 8 mediciones.

Las mediciones de resistencia se realizaron en época de sequía, de manera que describen las condiciones más desfavorables, de manera que para los cálculos no se aplicará un coeficiente de seguridad. Entonces, teniendo como referencia la

Ecuación (2.40) para la resistencia entre electrodos, despejamos el valor de resistividad  $\rho$ .

$$\rho = \frac{2R\pi L}{\ln\left(\frac{4L}{d} - 1\right)} \tag{4.6}$$

Donde  $R$  es la lectura del medidor de resistencia,  $d$  es el calibre de la varilla copper-weld y  $L$  es la profundidad a la que está enterrada la varilla.

A continuación se calculará  $\rho$  para cada sección de las instalaciones según el orden en el que se tomaron. Para el cuarto de control y con los datos de la Tabla 4.1, sustituimos los valores en la Ecuación (4.6).

$$\rho = \frac{2(3.2)\pi(2.7)}{\ln\left(\frac{4(2.7)}{0.015875} - 1\right)} = 8.32 \text{ } \Omega\text{m} \tag{4.7}$$

Siguiendo el mismo procedimiento con todas las lecturas completamos la Tabla 4.1 con el valor de  $\rho$ .

Área de estudio	Número de medición	Lectura R[Ω]	D[m]	L[m]	$\rho$ [Ωm]
Cuarto de control	1	3.2	0.015875	2.7	8.32
Laboratorios	1	12	0.015875	2.7	31.22
	2	7.8	0.015875	2.7	20.29
Antena	1	16	0.01905	0.5	10.8
	2	10	0.01905	0.5	6.75
	3	20	0.01905	0.5	13.5
	4	14	0.01905	0.5	9.45
	5	17	0.01905	0.5	11.48
	6	11	0.01905	0.5	7.43
	7	15	0.01905	0.5	10.13
	8	23	0.01905	0.5	15.53

Tabla 4.1. Recopilación de mediciones de resistencia del terreno,  $d$  y  $L$  es el diámetro y la longitud enterrada del electrodo, respectivamente.

Para calcular la resistividad promedio es necesario despreciar la resistividad más grande 31.22  $\Omega m$  de la zona del laboratorio de electrónica y la más pequeña 6.75  $\Omega m$  perteneciente a la segunda medición realizada en la zona de la antena.

$$\rho_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} = \frac{8.32 + 20.29 + 10.80 + 13.50 + 9.45 + 11.48 + 7.43 + 10.1 + 15.53}{9}$$

$$\rho_{prom} = \frac{106.92}{9} = 11.88 \Omega m \quad (4.8)$$

Los resultados se esperaban teóricamente, el terreno es tierra orgánica húmeda cuyo valor de resistividad generalmente está alrededor de los 10  $\Omega m$ , ver Tabla 2.1.

Una vez que se tenga el valor de resistividad, podemos determinar los arreglos de puesta a tierra más adecuados para la zona. Esto se incorporará al sistema de protección, en el cual además están involucrados, los interruptores, las protecciones termomagnéticas, supresores de picos, etc.

#### 4.3.2. Tierra física para acometida

El reglamento de instalaciones eléctricas exige una conexión a tierra en el lado de abastecimiento del medio de desconexión principal. Se propone un electrodo de puesta a tierra, el cual será suficiente para tener una resistencia menor a 25 $\Omega$ .

Por otro lado, el tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra de una instalación de corriente alterna, tomando como referencia el calibre de los conductores de la acometida, no debe ser inferior a lo especificado en la Tabla 250-94 de la NOM, Tabla 4.2. Según planos eléctricos del radiotelescopio, se cuenta con 4 conductores de acometida 220/127 V de cobre de 85.01 mm<sup>2</sup> (3/0). Según la tabla le corresponde un conductor de cobre de 33.62 mm<sup>2</sup> (2 AWG), sin embargo, la carga ha aumentado, por lo que para cualquier modificación se elige el conductor próximo de la Tabla, que corresponde a conductor de cobre de 53.48 mm<sup>2</sup> (1/0).

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida en mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)		Tamaño nominal del conductor de tierra (AWG o kcmil)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33.62(2) o menor	53.48(1/0) o menor	8.367(8)	13.3(6)
42.41 o 85.01(2/0 o 3/0)	67.43 o 85.01 (2/0 o 3/0)	13.3(6)	21.15(4)
67.43 o 85.01 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21.15(4)	33.72(2)
Más de 85.01 a 177.3 (2/0 a 350)	Más de 126.7 a 253.4 (250 a 500)	33.62(2)	53.48(1/0)
Más 177.3 a 304 (350 a 600)	Más de 253.4 a 456.04 (500 a 900)	53.46(1/0)	85.01(3/0)
Más de 304 a 557.38 (600 a 1100)	Más de 456.04 a 886.74 (900 a 1750)	67.43(2/0)	107.2(4/0)
Más 557.38 (1100)	Más 856.74(1750)	85.01(3/0)	126.7(250)

Tabla 4.2. Tabla 250-94 de la NOM

Para corroborar la selección del tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra, se debe considerar como máximo los valores especificados en la Tabla 310-16 de la NOM, Tabla 4.3, de capacidad de conducción de corriente, tomando como referencia el interruptor de protección. Actualmente se cuenta con un interruptor de navajas de 3X60 A, en la tabla de la NOM equivale a un conductor de 13.3 mm<sup>2</sup> (6 AWG), pero debido al incremento de carga antes mencionado, se instalará un interruptor de navajas de 3X150 A, para lo cual la tabla indica un conductor de 53.48 mm<sup>2</sup> (1/0). Por lo tanto, bajo los dos criterios es necesario un conductor de 53.48 mm<sup>2</sup> (1/0).

Asimismo se recomienda como electrodo de puesta a tierra una varilla tipo cooperweld de acero con recubrimiento de cobre de 0.0159 m (5/8") de diámetro y 3 m de longitud, Figura 4.12, por lo tanto, según la Ecuación (2.39) la resistencia será:

$$R = \frac{11.88}{2\pi \cdot 3} \left( \ln \frac{4(3)}{0.0159} - 1 \right) = 4.2\Omega$$

Para la acometida la máxima resistencia para un electrodo es de  $R \leq 25\Omega$  [3], por lo que, cubre la condición.



Tamaño nominal mm <sup>2</sup>	Temperatura nominal del conductor						Tamaño nominal AWG kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipos TW TWD CCE TWD-UV	Tipos RHW THHW, THW, THW-LS, THWN, XHHW, TT	Tipos RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, XHHW, XHHW-2	Tipos UF	Tipos RHW, XHHW, BM-AL	Tipos RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS	
Cobre				Aluminio			
0.8235	-	-	14	-	-	-	18
1.307	-	-	16	-	-	-	16
2.082	20	20	25	-	-	-	14
3.307	25	25	30	-	-	-	12
5.28	30	35	40	-	-	-	10
8.367	40	50	55	-	-	-	8
13.3	55	65	75	40	50	60	6
21.15	70	85	95	55	65	75	4
28.67	85	100	110	65	75	85	3
33.82	95	115	130	75	90	100	2
42.41	110	130	150	85	100	115	1
53.48	125	150	170	100	120	135	1/0
67.43	145	175	195	115	135	150	2/0
85.01	185	200	225	130	155	175	3/0
107.2	195	230	260	150	180	205	4/0

Tabla 4.3. Tabla 310-16 de la NOM. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales. No más de tres conductores activos en una canalización, cable o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C.

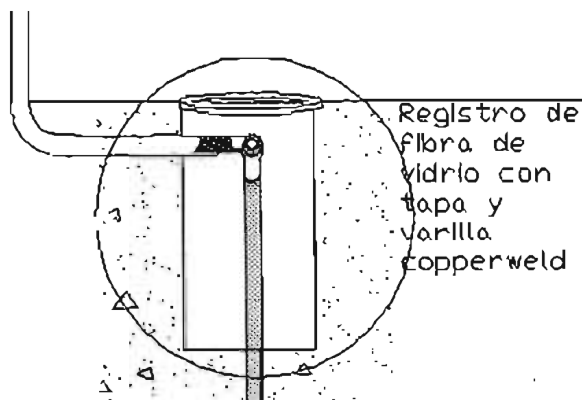


Figura 4.12. Arreglo tipo para acometida.

Cabe mencionar que el cableado de la instalación eléctrica consta de por lo menos 3 conductores hacia los diferentes tableros secundarios, un conductor de fase, el neutro y la tierra física, de manera que contarán con esta protección debido a que el conductor de puesta a tierra física estará conectado en todos los edificios [36]. Además, en cumplimiento a la norma, el conductor tierra física deberá unirse con el neutro sólo en el centro de carga principal.

#### 4.3.3. Tierra para bajada de pararrayos.

Se recomienda un anillo que rodee los edificios y la antena, al que serán conectadas las bajadas de los pararrayos, debe estar en contacto directo con tierra a una profundidad mayor a 0.8 m que tenga como mínimo 6m de conductor de cobre desnudo de tamaño nominal de  $53.48 \text{ mm}^2$  (1/0 AWG), Figura 4.13. Con electrodos (varillas) de puesta a tierra cada 30m, cada electrodo tendrá una  $R = 4.2 \Omega$ , igual al punto anterior. Según la norma IEC, se recomienda que el electrodo de bajada de las puntas pararrayos tenga una  $R < 10 \Omega$ , por lo que cubre la condición.

#### 4.3.4. Tierra aislada para cuarto de control, cubículos de investigadores y laboratorios

El sistema de puesta a tierra debe proveer un camino adecuado de retorno al sistema de suministro eléctrico de baja impedancia para la operación de los equipos, asimismo debe limitar el voltaje de contacto entre equipos y equipos con tierra, para evitar riesgos de descarga eléctrica. Además, proveer una referencia a los equipos electrónicos por la eliminación de las diferencias de potencial entre diferentes componentes del sistema.

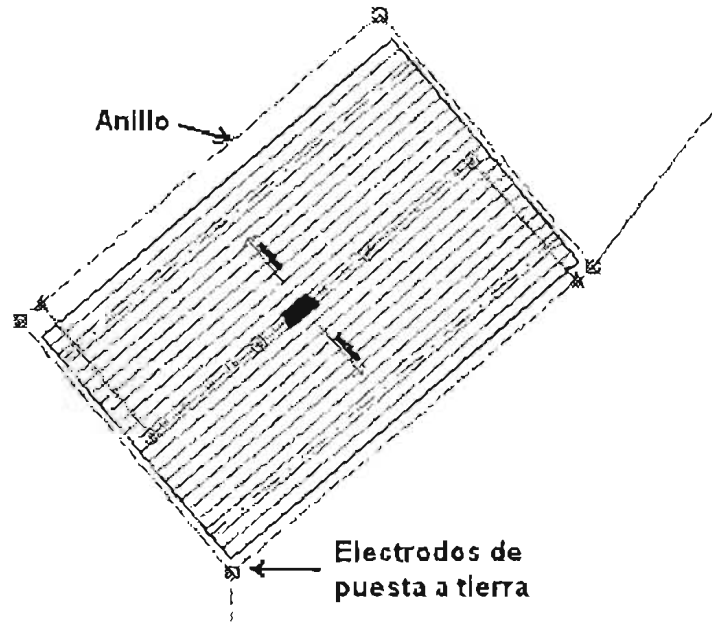


Figura 4.13. Vista superior de un edificio, se observa el arreglo de puesta a tierra tipo anillo.

Se requiere un valor de resistencia  $R \leq 1\Omega$ . Para disminuir la resistencia a tierra se propone una puesta a tierra aislada en arreglo delta en el cuarto de control y otro en cubículos, Figura 4.14.

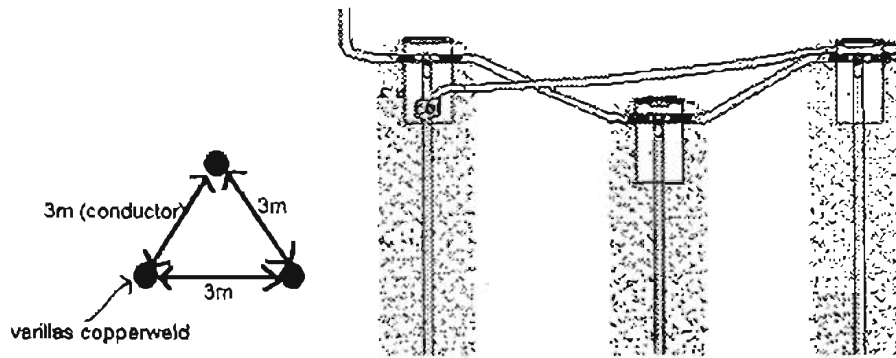


Figura 4.14. Arreglo de puesta a tierra en delta.

Utilizando el valor de R para un solo electrodo y el factor F de la Tabla 4.4, de manera que dividimos entre el número de electrodos del arreglo y lo multiplicamos por el factor F.

$$\frac{R}{3} = \frac{4.2}{3} = 1.4\Omega$$

Número de electrodos	F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

Tabla 4.4. Factor F para el calculo de resistencia de un arreglo de puesta a tierra con múltiples varillas [3].

Para 3 electrodos en paralelo  $F = 1.29$ , entonces:

$$1.4K = 1.4(1.29) = 1.8 \Omega$$

Anexando el material acondicionador de suelo, mejorará las condiciones de contacto entre electrodos y suelo, para reducir al 50% de resistencia. Por lo tanto,  $R = 0.9 \Omega$ .

Con lo que queda satisfecha la condición,  $R_{condición} = 1 \Omega > R = 0.9 \Omega$ .

#### 4.3.5. Tierra para jaula Faraday

Los edificios que contarán con un blindaje tipo jaula de Faraday son el cuarto de control y los cubículos, en los cuales dicha jaula de Faraday también se debe conectar al anillo de puesta a tierra que rodea los edificios.

#### 4.3.6. Protección por conexión equipotencial

Conductor destinado a unir masas metálicas no energizadas, con el propósito de cancelar gradientes de potencial entre ellas, de manera que en ningún punto normalmente accesible, las personas corran el riesgo de estar sometidas a una tensión peligrosa, durante cualquier disturbio o defecto de la instalación eléctrica o en la red unida a ella.

El arreglo de puesta a tierra aislada se unirá a los arreglos restantes en caso de disturbios por medio de un dispositivo para enlace del sistema de tierras (transient earth clamp), marca erico, cat TEC-100C, para garantizar un sistema de puesta a tierra equipotencial en caso de sobretensiones transitorias, Figura 4.15.

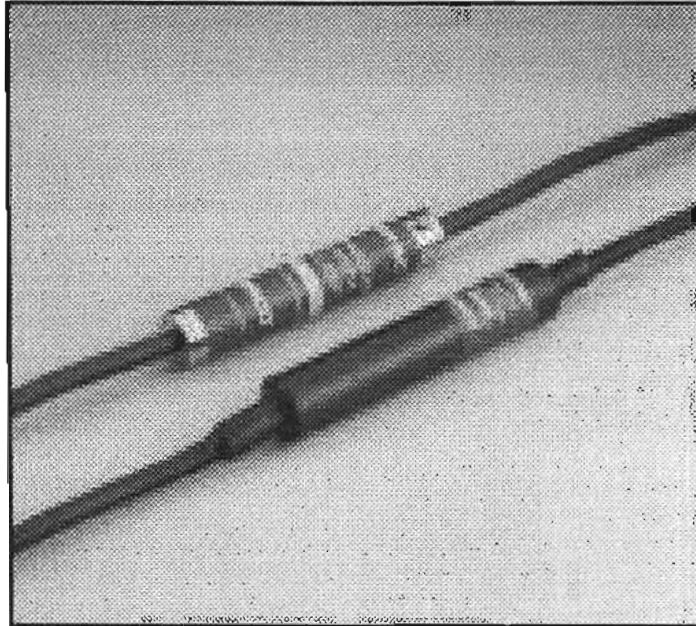


Figura 4.15. Dispositivo para enlace de tierra.

Este sistema de puesta a tierra se describe en el plano IEP-05.

# 5. Puesta en obra de las protecciones.

La instalación del sistema de protección integral: pararrayos, sistema de tierras, sobretensiones e inducción, se implementó siguiendo el proyecto revisado por varias personas especializadas en el tema: El Ing. Guillermo López Monroy (Facultad de Ingeniería, UNAM) y el Ing. Arturo Martínez (Dirección General de Obras y Proyectos, UNAM).

Es relevante mencionar que las condiciones y requerimientos técnicos que rigen el proyecto se establecieron con base en las especificaciones científico-técnicas del proyecto del Radiotelescopio e Infraestructura del observatorio. Las especificaciones científicas y técnicas fueron establecidas por los responsables del MEXART: MC Armando Carrillo (Responsable Técnico) y Dr. Américo González Esparza (Responsable Científico).

Con base en estas condiciones se plantearon las propuestas, las cuales fueron evaluadas en varias reuniones. Antes de llegar a una propuesta final se evaluaron detalladamente los beneficios y perjuicios colaterales, además de los alcances económicos de cada opción. Las primeras reuniones se establecieron con usuarios y equipo técnico, enseguida de realizar un análisis adecuado se establecieron reuniones con personal calificado perteneciente a la División General de Obras y Proyectos de la UNAM, por último se efectuó una reunión entre el personal involucrado y la Secretaría de comunicaciones y Obras Publicas del Estado de Michoacán, con la finalidad de evaluar el presupuesto.

## **5.1. Preparación del terreno para la instalación del sistema de protecciones**

Considerando un buen método de instalación, se comenzó marcando la ubicación de excavaciones, que albergan la cimentación de las torres, de mástiles y para retenidas de torres, conductor para el anillo y los registros para los electrodos, según los planos.

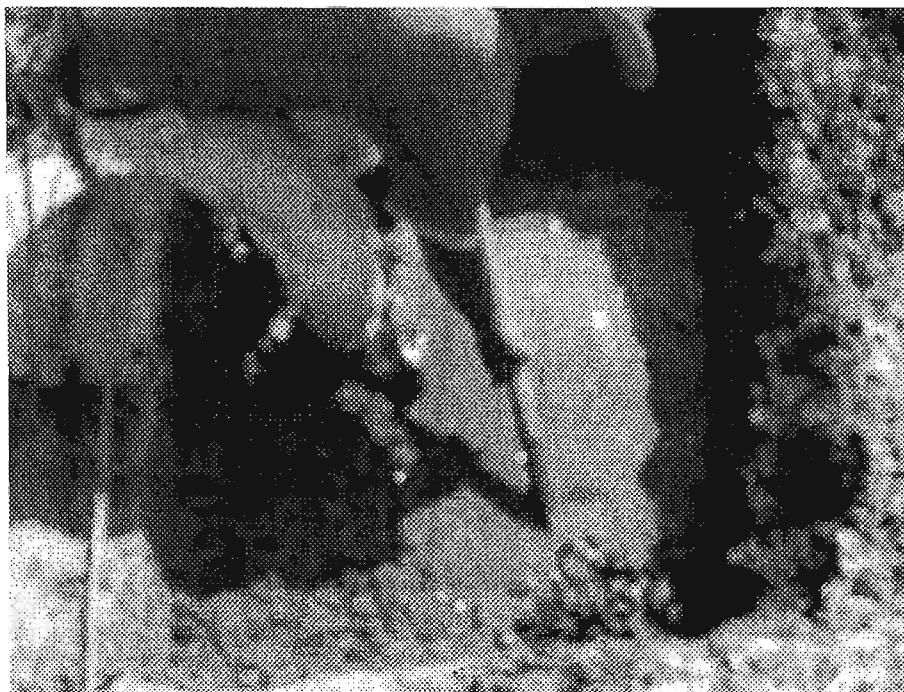
Se consideran como referencia los vértices del rectángulo que determina la antena, Figura 5.1, la localización de la excavación para los dados de las torres se ubicó a 10 m de distancia en la vertical Norte-Sur y 10 m en la horizontal Este-Oeste. Además, tienen las dimensiones siguientes: 1.70 m de largo por 1.70 m de ancho, con una profundidad de 1.95 m, tomando como referencia el nivel de la plataforma o terraplén, Figura 5.2. Igualmente para la cimentación de mástiles, la excavación se realizó al mismo nivel de las torres, quedando a 30 m de distancia entre todas las torres que se encontraban en el lado norte y el lado sur, y a 10 m del perímetro de la antena, respetando el perímetro limitante de instalación. Las dimensiones de la excavación correspondientes, se realizaron a 1.20 m de largo por 1.20 m de ancho, con una profundidad de 1.95 m, Figura 5.3.



**Figura 5.1. Vértices del terraplén de la antena**



**Figura 5.2. Nivel de plataforma**



**Figura 5.3. Profundidad de la excavación.**

Debido al tipo de terreno, para construir la cimentación adecuada se requirió un mejoramiento del terreno, el cual se describe a continuación: se depositaron varias capas de material: la primer capa de material que se vació en la excavación es de filtro vibrado, material poroso, con un grosor de 0.30 m, Figura 5.4, una segunda capa de 0.15 m compuesta por material en graña a volteo, grava, Figura 5.5, la tercera y cuarta capa, están compuestas de tepetate o cementante, tanto la



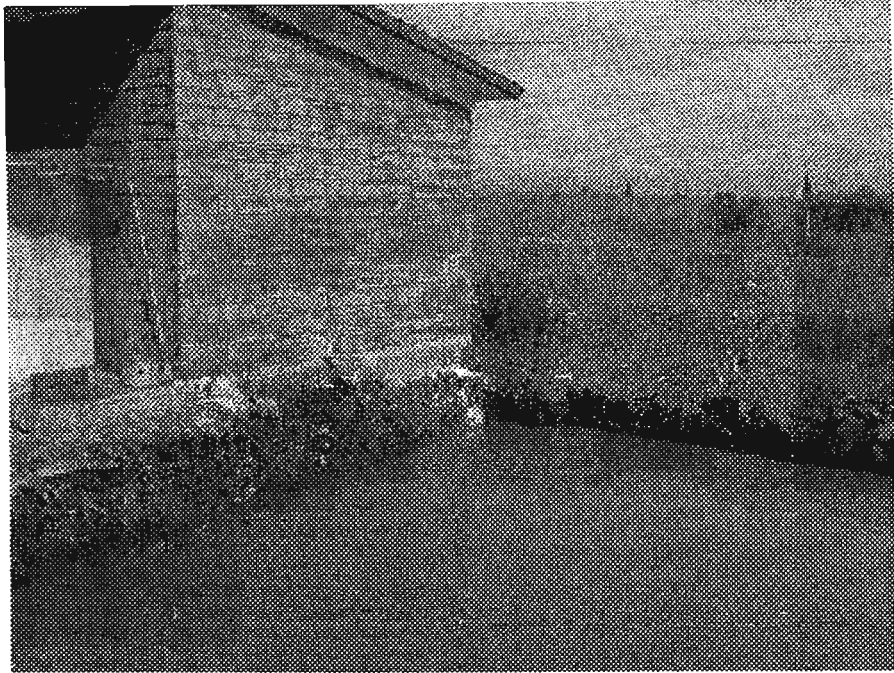
tercera y la cuarta capa, tienen un espesor de 0.15 m, éstas se compactaron al 90% PROCTOR, Figura 5.6. Una etapa previa a la elaboración del dado fue colocar una plantilla de desplante con grosor de 0.05 m sobre la última capa de tepetate.



Figura 5.4. Material filtro vibrado.



Figura 5.5. Material en graña a volteo.



**Figura 5.6. Material Proctor**

Como primer punto de la instalación del sistema de puesta a tierra perteneciente al sistema contra inducción electromagnética, se realizó la ubicación del lugar donde se colocaron los electrodos de puesta a tierra, tomando como referencia las columnas cilíndricas de concreto. La ubicación fue a 0.50 m de distancia, distancia mayor a 0.30 m de una bajada, recomendación por norma. Teniendo la ubicación, se procedió a realizar la excavación. Las excavaciones se realizaron a un lado de las bases tubulares de concreto a una distancia de 24 m entre ellas, y a una profundidad de 1.10 m respecto del nivel de plataforma con un diámetro de 0.30 m, cumpliendo con las características que presenta el tubo de albañal. Se realizaron 10 excavaciones, 5 del lado Este y 5 para el lado Oeste, Figuras 5.7 y 5.8.



**Figura 5.7. Bases tubulares lado este.**



**Figura 5.8. Base tubulares lado oeste.**

La excavación perimetral correspondiente al anillo del sistema de tierra de la antena, se elaboró acorde a las especificaciones del proyecto y como lo indica la norma, unión equipotencial de las bajadas de los pararrayos [2]. La excavación se realizó en todo su perímetro, a 0.80 m de profundidad y 0.30 m de ancho, ésta se inició en dos direcciones, en la torre que se encuentra ubicada del lado Norte y

centro del perímetro de la antena, Figura 5.9. Asimismo, se realizó la excavación para las varillas, éstas se ubicaron a una distancia de 15 m de separación entre cada una de ellas, este trabajo comprendió la cantidad de 12 excavaciones. El trabajo se realizó durante dos semanas.



**Figura 5.9. Excavación perimetral correspondiente al anillo perimetral.**

Cabe mencionar que el inicio de la obra se realizó en época de intensas precipitaciones pluviales, debido a estas circunstancias, para esta primera etapa se presentaron varias condiciones desfavorables: corrientes de agua que se filtraban en la excavación debido al nivel del manto freático del terreno, la presencia de lluvia la mayor parte del día, ver Figura 5.110, circunstancia que se presentó por varias semanas.



Figura 5.10. Precipitaciones pluviales

## 5.2. Puesta en obra del sistema de protección contra descargas atmosféricas.

El diseño tiene la finalidad de obtener la protección máxima posible contra descargas eléctricas atmosféricas, sin olvidar las restricciones impuestas por las condiciones científicas y técnicas.

### 5.2.1. Puesta en obra del sistema de protección contra descargas atmosféricas directas para la antena.

La cimentación de las torres forma parte de la segunda etapa de la instalación del sistema de protección. Se diseñaron dados armados con una parrilla base de 120 x 120 m: con varilla del No. 4, con rejilla interna de 0.20 m en ambos sentidos. Sobre esta rejilla se colocó un castillo de 8 varillas del No. 4, sujeta con estribos del No. 2 a 0.15 m de distancia entre ellos, Figura 5.11. Después de su elaboración, se colocaron anclas roscadas adicionales de 0.0187 m de diámetro en arreglo triangular para la fijación de las bases de las torres que soportaran pararrayos e hilo de guarda, Figuras 5.12 y 5.13, estas anclas quedaron niveladas por medio de tornillos y nivel. Posteriormente se colocó material para rellenar y asentar la placa metálica guía.

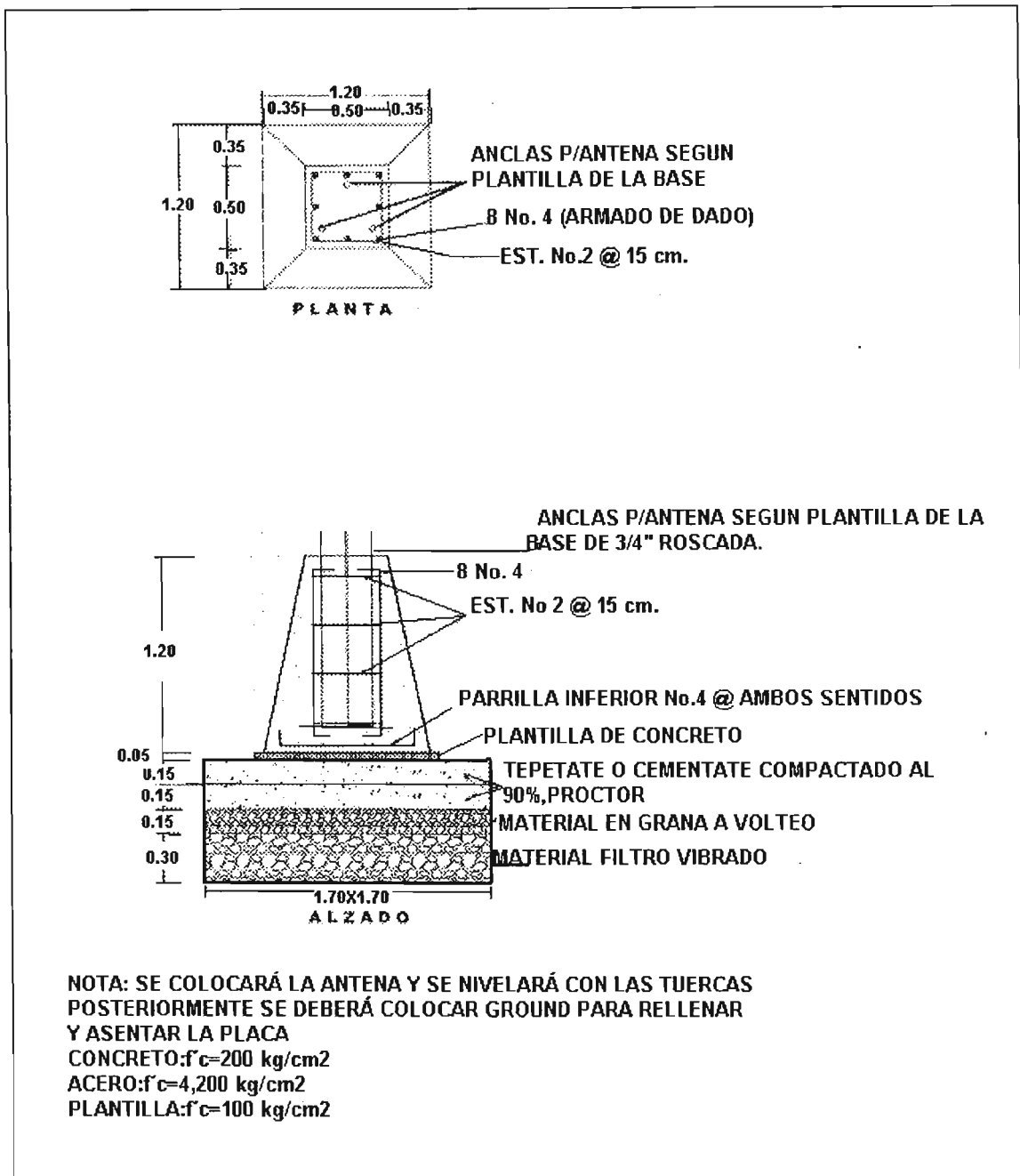
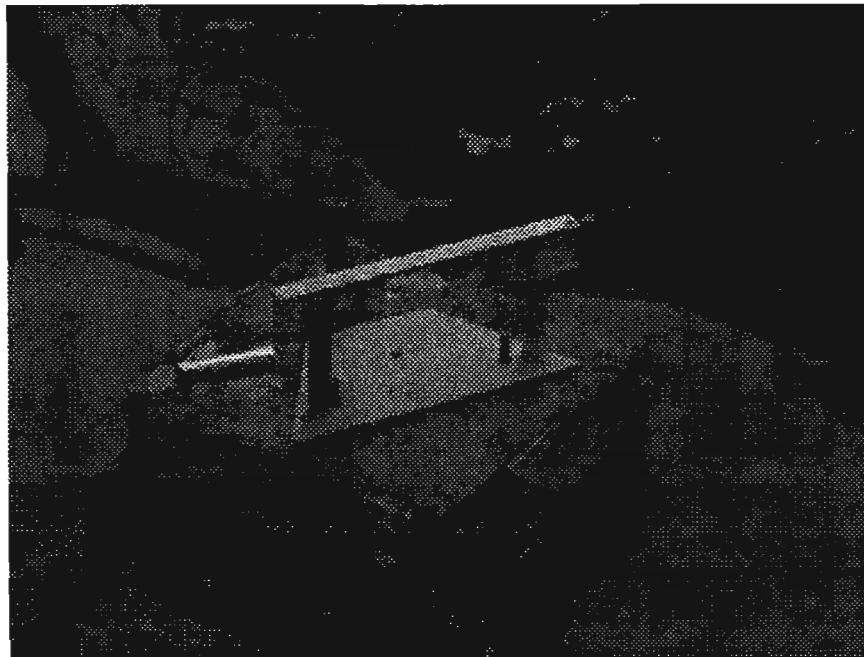


Figura 5.11 Esquema de cimentación de la torre



**Figura 5.12. Anclas con tornillos para nivelar la base de la torre.**



**Figura 5.13. Base nivelada para colocar la torre.**

Entonces, se montaron los tramos tubulares de 3 m de altura con tornillos mecánicos y el cable de cobre para la bajada de puesta a tierra. Después de esto se trató de instalar el hilo de guarda, en este proceso se hizo pasar al conductor por todas las torres, lo cual presentó dos problemas, el manejo de éste por su rigidez y el punto más importante: la inclinación de las torres por el mismo peso del conductor, lo que hizo recurrir al diseño de retenidas.

Es importante mencionar que la compañía con nombre 'MED contratista' encargada de la obra no contó con el equipo adecuado para este tipo de trabajo, como con el que cuentan las compañías especializadas, como son Comisión Federal de Electricidad, Luz y Fuerza y PEMEX. Por lo cual se hizo relevante la supervisión y asesoría de los que elaboraron este proyecto. Además, la Secretaria de Comunicaciones y Obras Publicas de Michoacán, solicitó durante la licitación que las compañías fueran especializadas.

La implementación de retenidas se elaboró con varilla de 0.009375 m, grava *filtro vibrado*, arena y cemento. La limitación del terreno con respecto a las torres de los pararrayos, nos llevó a dos formas diferentes de diseño. La excavación que se realizó para las retenidas de dos de las torres, ubicadas en el extremo Oeste, se elaboraron de la manera rudimentaria, las cuales tuvieron las siguientes características: 0.20 m de largo por 0.20 m de ancho a 1 m de profundidad, también se colocó un tubo de PVC para hacer un levantamiento del ancla de la retenida con el objetivo de que se ubicaran al nivel de la base (terraplén) de la antena, Figura 5.14, posteriormente se nivelará todo el terreno que comprende las instalaciones del observatorio.



**Figura.5.14. Nivelación de retenida a nivel de terraplén.**

Para la elaboración de las otras retenidas se diseñó una solución particular, debido a que se presentaron limitaciones del terreno del observatorio con respecto a dos de



las torres de pararrayos, ubicadas en el lado Este de la antena, se elaboró un levantamiento de muro de retenida, Figura 5.15.

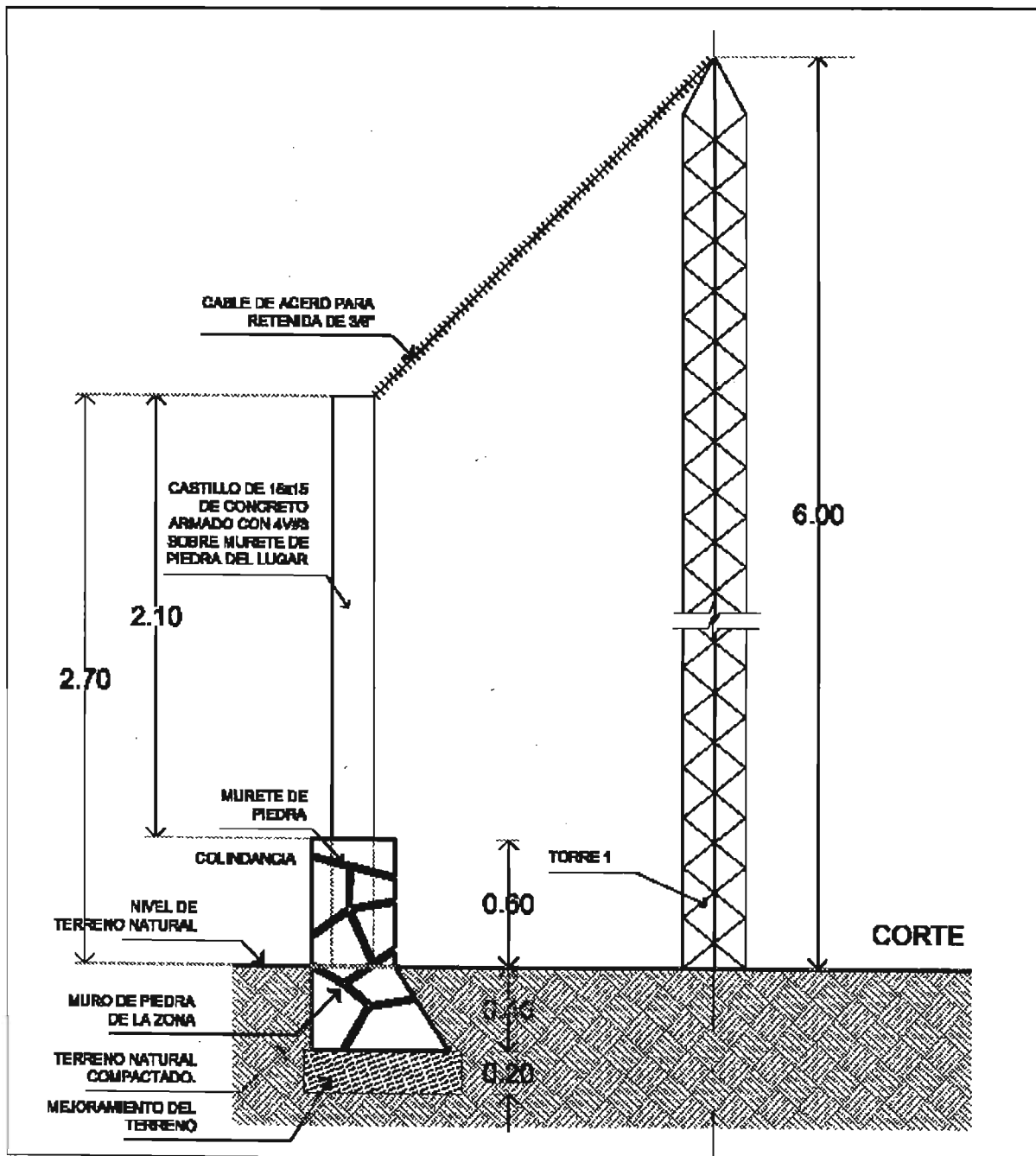


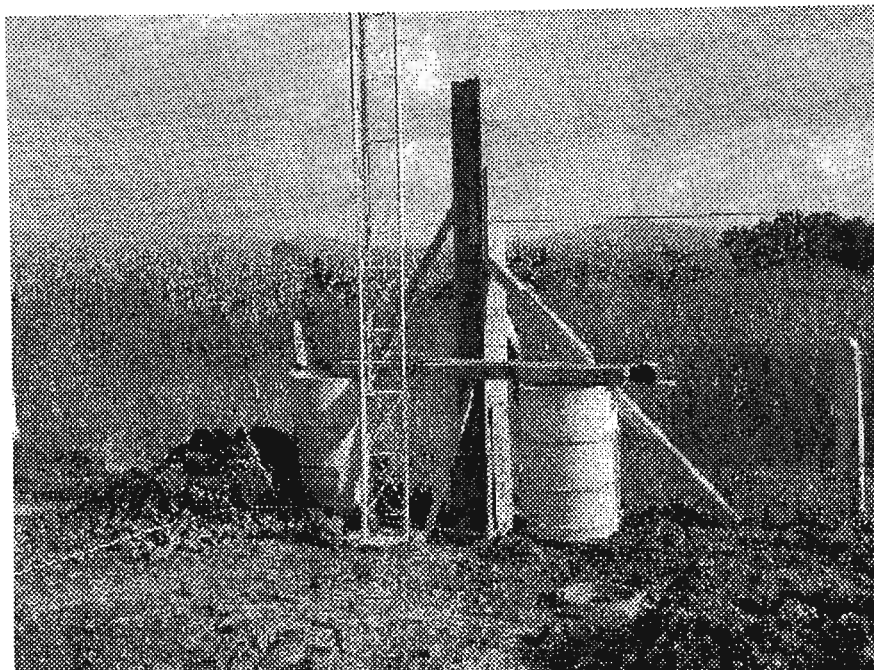
Figura 5.15. Planta y alzado de retenida.

El proceso fue el siguiente, una excavación de 1.20 m de lado por 1.20 m de ancho con 0.70 m de profundidad, en ésta parte se realizó una base (parrilla) con varilla de 0.009375 m de diámetro, sobre esta parte se instaló el castillo correspondiente al muro de retenida la cual tiene como medidas de 0.20 m por 0.20 m de castillo con

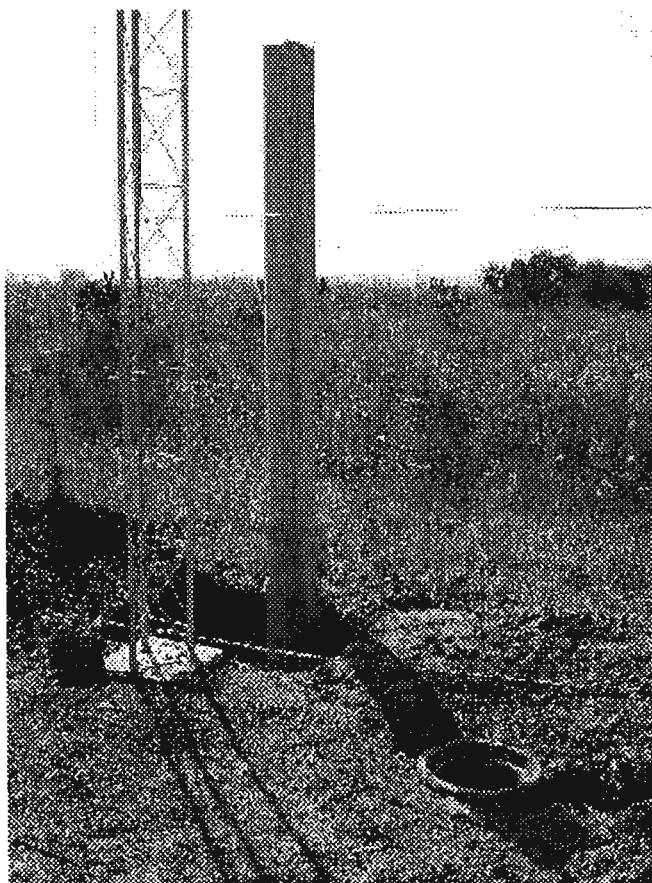
varilla de 0.0125 m de diámetro, a una altura de 2.70 m sobre el nivel del terraplén, Figura 5.16. Para iniciar el colado, en primer punto se realizó una base de concreto sobre la parrilla de aproximadamente 0.15 m de grosor, a este proceso se le dio el tiempo de 2 días de reposo, debido a las circunstancias mencionadas al principio, con el objetivo de que el castillo quedara nivelado y fijado. Después de esto se procedió a encajonar el castillo y se realizó el fraguado, Figura 5.17 y 5.18.



**Figura. 5.16. Armado de castillo.**



**Figura.5.17. Castillo de retenida listo para ser fraguado.**



**Figura.5.18. Castillo de retenida terminado.**

El sistema de protección contra descargas atmosféricas directas, estará completo hasta la instalación definitiva de hilo de guarda y puntas Faraday, pero no se instalan

hasta que tenga el sistema de puesta a tierra instalado. De otra manera, se tendría el peligro de inducir un rayo sin el adecuado camino para la disipación de corriente.

### **5.2.2. Puesta en Obra de la Protección contra descargas atmosféricas directas para los edificios**

La protección para la edificación tiene como principio utilizar los conceptos de la jaula de Faraday y unión equipotencial de todos los electrodos de puesta a tierra, por medio de un anillo perimetral, según normas NFPA y NOM.

El cuarto de control es una edificación a dos niveles, compuesto en su base por un cuarto de cables y en el segundo nivel se tiene un cuarto de receptores, una sala de control y una estancia de lectura. Para la colocación de las puntas de los pararrayos, se realizaron tres bases cuadradas con concreto y varilla, con distancias de 0.20 m por 0.20 m y 0.10 m de grosor, a una distancia del centro menor a 0.60 m de la distancia de la orilla del techo. La base de metal del pararrayos quedó ubicada al centro de la base de concreto, se realizaron orificios simétricos a la base del pararrayos mediante equipo eléctrico (taladro/rotomartillo) la cual quedó fija mediante taquete y tornillo.

Teniendo esto se procedió a colocar el conductor, fijándolo con abrazaderas de cobre, para no perder con la estética de la construcción, se realizaron perforaciones sobre el tejado, este trabajo se realizó con el debido cuidado que presenta, la fijación se realizó a cada metro de distancia para evitar movimiento no deseado del conductor. Para este sistema se necesitaron dos bajadas de puesta a tierra, éstas se ubicaron en el lado Este y Oeste del cuarto de control, una en cada lado; se fijaron firmemente al conductor que une a las bases de los pararrayos mediante el dispositivo mecánico "Conductor tipo T" Figura 5.19, de la misma forma se fijó el conductor a lo largo con abrazaderas y se protegió con tubos conduit de PVC verde, de 3 m de longitud, de 0.019 m de diámetro sobre nivel de suelo, también se fijó por medio de abrazaderas Figura 5.20. Por último se colocó el desconectador para bajada, también denominado interruptor mecánico, el cual tiene la función de dejar independiente el sistema de pararrayos y el sistema de tierras, para realizar pruebas de resistividad y conductividad, por lo que para éste trabajo se realizó un corte en el conductor de puesta a tierra con material mecánico (segueta)

quedando a 0.15 m arriba del tubo de PVC. Con éste proceso se presenta un adecuado nivel de protección contra descargas atmosféricas eléctricas.

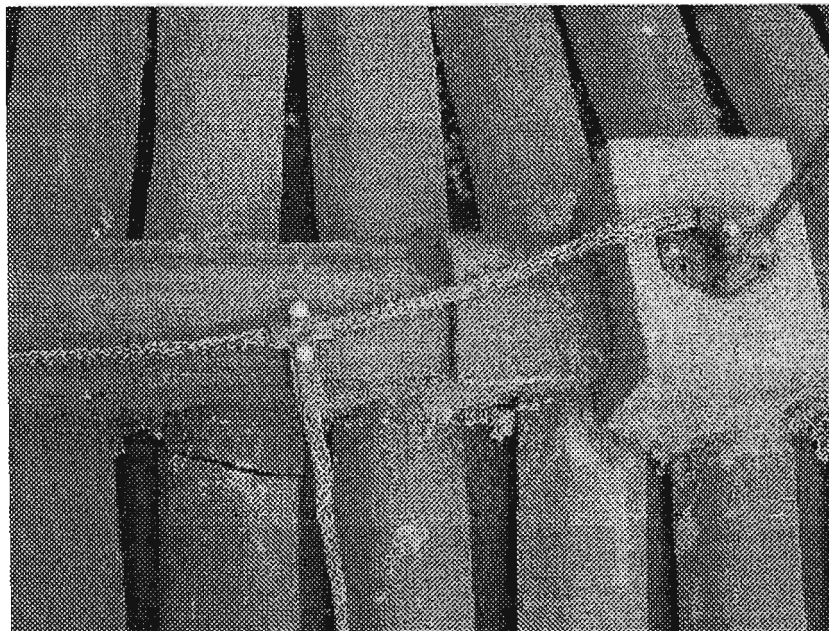


Figura.5.19. Cuarto de control con punta de pararrayos y conector tipo "T".

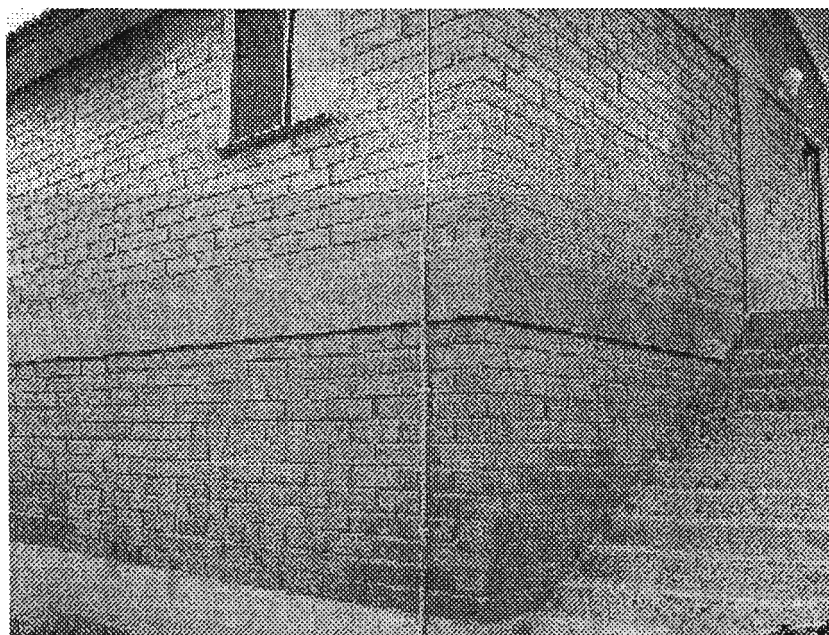


Figura.5.20. Conductor de puesta a tierra y tubo de PVC.

Es importante mencionar que para la construcción de la obra que comprende al observatorio del radiotelescopio, no se contempló la instalación de un sistema contra descargas eléctricas atmosféricas, por lo cual en éste caso, para la elaboración del sistema de pararrayos en las edificaciones, se tuvo que realizar diseños y trabajos sobre obra, llamados "atípicos", como lo es, la construcción de bases de concreto

para la colocación de las bases de las puntas de pararrayos. Para estos trabajos se cuidó no interrumpir con la idea de un buen diseño estético de la instalación del observatorio.

Para éste proceso se recomendó que en todas las fijaciones por abrazaderas, quedaran recubiertas por medio de material impermeabilizante, con los fines de prevenir corrosión del material.

Los laboratorios, casas habitación, cubículos y área de cómputo se encuentran unidos con una techumbre en forma de "L", tiene un levantamiento de un sólo nivel. El diseño contra descargas atmosféricas para la edificación, está realizado de la siguiente manera: Para el primer laboratorio se utilizaron dos puntas de pararrayos, éstas se ubicaron a una distancia máxima de 6 m entre ellas y mínima de 0.60 m con respecto al perímetro del tejado. La realización de la base de concreto para la ubicación de la base de pararrayos y la colocación de ésta, así como la forma de instalación y fijación del conductor de 28 hilos, se realizó del mismo modo especificado para el cuarto de control. Para el segundo laboratorio con techo tipo chimenea, se colocó una punta en cada esquina, por lo que el total de puntas de pararrayos utilizadas en esta área, son 4, las cuales quedaron unidas entre sí, por medio del conductor y la pieza mecánica perteneciente a la base del pararrayos. Se realizó la unión del arreglo de pararrayos del primer y segundo laboratorio por medio de un tramo de conductor y una abrazadera tipo "T". Para los cubículos de los investigadores y estudiantes se colocaron tres puntas separadas entre sí, se realizó una unión de éste al segundo laboratorio con un tramo de conductor y abrazadera tipo "T", también se respetó las distancias máximas y el modo de fijación, como lo es indicado por norma y diseño. Las habitaciones de investigadores y de estudiantes, tienen el techado de la misma forma, en esta parte se instalaron sólo dos puntas de pararrayos, las cuales quedaron ubicadas del lado Norte de la instalación. En esta parte de la instalación se encuentra ubicado un área de azotea, con forma rectangular, por lo que se encuentra a un nivel más alto de la construcción de las habitaciones de los investigadores y estudiantes. Para este tipo de instalación de puntas de pararrayos, se utilizó el mismo método que en el segundo laboratorio, se instalaron 4 puntas, una en cada esquina, unidas entre sí por el conductor. Ésta parte de instalación se unió al conductor de las habitaciones por medio de un tramo de conductor y de dos conectores tipo "T".

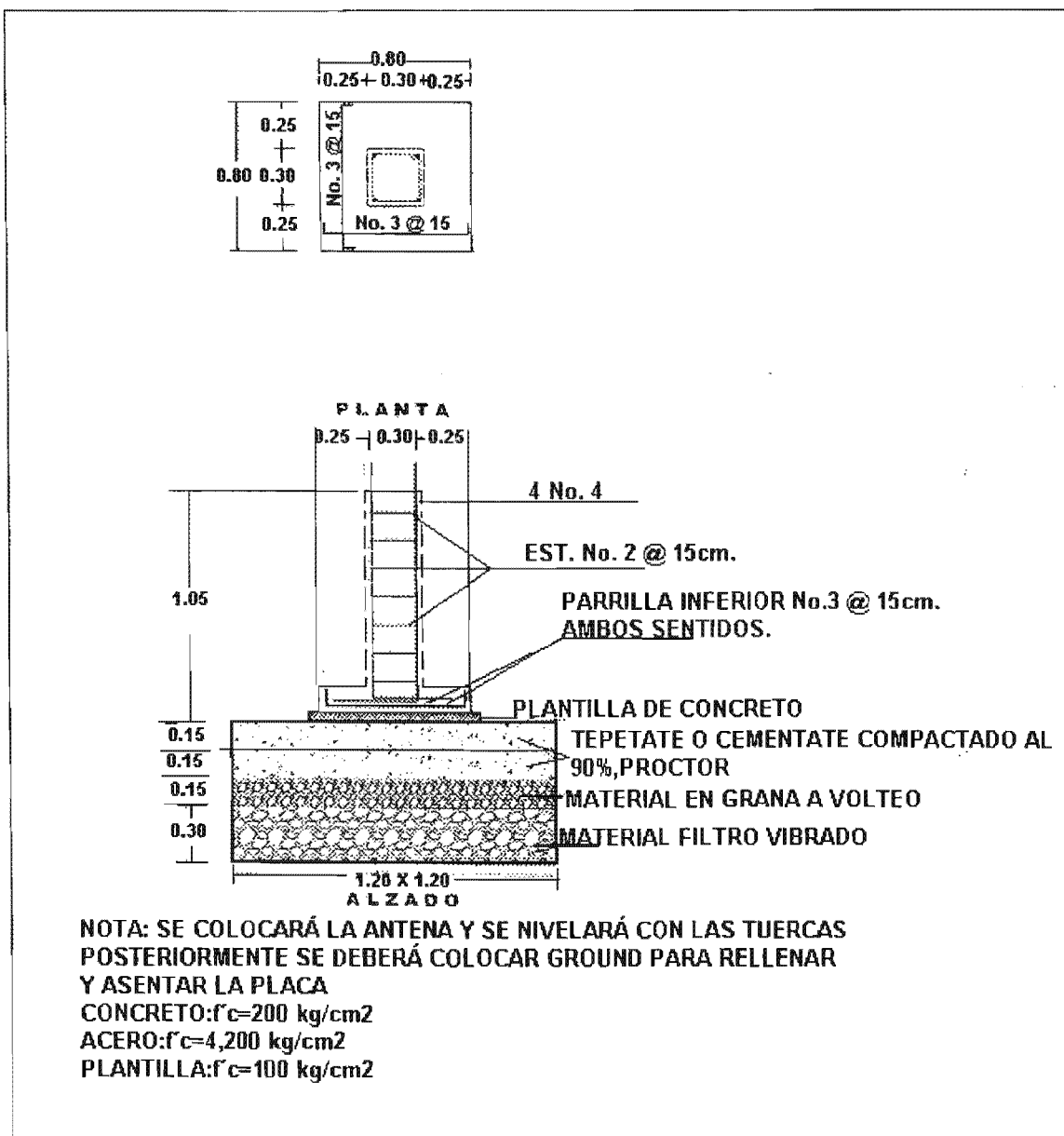
Otra edificación que es parte del radiotelescopio, está compuesta por un auditorio, cuarto de auxiliares administrativos, cuarto de máquinas, fosa séptica, baños y caseta de servicio, todas estas instalaciones se encuentran unidas, por lo cual se realizó un sistema único de protección contra descargas eléctricas para esta área. Entre la caseta de servicio y los baños se instalaron dos puntas separadas entre sí, a la distancia adecuada. El trabajo de colocación de las puntas de pararrayos se realizó del modo elaborado anteriormente. En el área de cuarto de máquinas y cuarto auxiliar de administración, se protegió con tres puntas de pararrayos. El auditorio se encuentra en proceso de construcción, por lo que se espera por diseño, realizar una instalación del sistema de pararrayos que comprenda tres puntas de pararrayos, bajo las mismas características que se realizaron los trabajos anteriores. Estas edificaciones quedaron unidas entre sí por medio de un conductor y conector tipo "T".

Para culminar con la protección contra descargas eléctricas atmosféricas de las edificaciones se elaboró la protección al taller, con un techado elaborado de material laminado, la colocación de cuatro puntas de pararrayos se realizó perforando el laminado con equipo mecánico (taladro) y fijado con tornillo tipo pija, éste trabajo se protegió contra el medio ambiente en todas las uniones con material impermeabilizante. Quedando realizada así de esta forma, una protección completa contra descargas eléctricas atmosféricas a toda la edificación que comprende el observatorio.

### **5.3. Puesta en obra del Sistema de protección contra inducción Electromagnética.**

Este tipo de protección sólo se aplicó a la antena, el diseño requirió de la colocación de mástiles en los lados Este y Oeste de la antena, de manera que ayuden a las torres a sujetar dos cables que funcionan de pantalla, la plantilla de concreto del dado correspondiente al mástil se refirió al nivel -0.20 m respecto del terraplén. Las especificaciones para este armado son: la parrilla base tiene dimensiones de 0.80 m x 0.80 m: se estructuró con varilla del No. 3, y rejilla interna de 0.15 m en ambos sentidos. Sobre esta rejilla se colocó un castillo con 4 varillas del No. 4 y 9 estribos del No. 2 a 0.15 m entre ellos, Figura 5.21. Para la fijación de las bases del mástil se colocaron anclas roscada de 0.01875 m de diámetro en forma cuadrada según

plantilla de la base como lo muestra en las Figuras 5.22 y 5.23. A la culminación de este trabajo se procedió a realizar las últimas etapas de instalación del mástil, siguiendo un procedimiento igual al de las torres.



5.21. Planta y alzado para base de mástil

Para la instalación de este sistema en la antena en el lado Este y Oeste, la base de pararrayos se colocó al centro de la superficie superior de la base del pilar cilíndrico de concreto, sobre esta base se realizaron 4 perforaciones simétricas a los orificios de la base de pararrayos mediante equipo mecánico (taladro), se fijó con destornillador, taquete y tornillo, Figura 5.24. El conductor de bajada, quedó fijo a la



base con llave mecánica, además, se fijó a la columna cilíndrica de concreto mediante abrazadera, cada 1 m, la columna de concreto tiene una longitud de 2.5 m, por lo que quedaron ubicadas una en cada extremo, superior e inferior, y una al centro, y para tener la malla, se unió a las líneas de PTR solera.

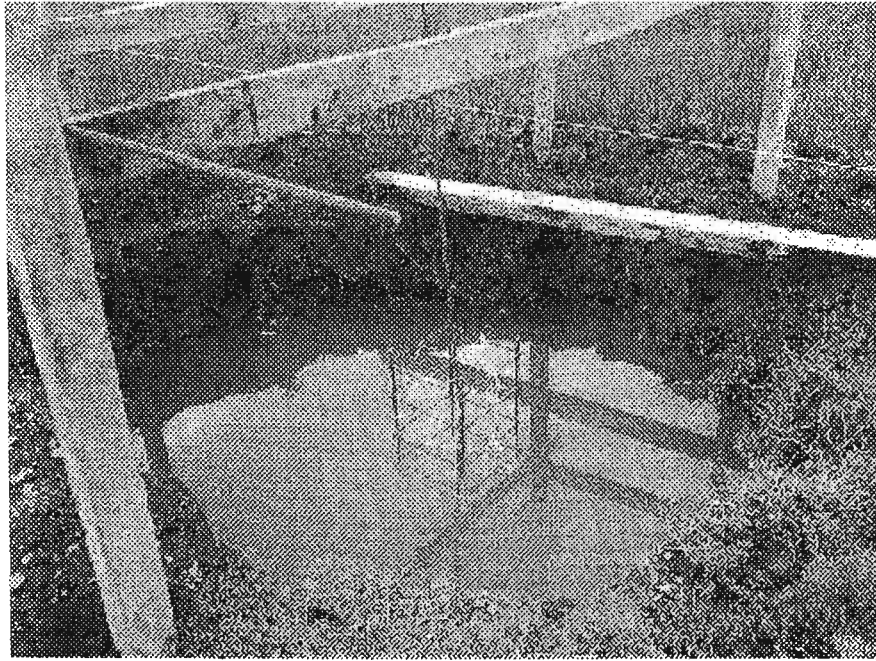


Figura.5.22. Armado par base de mástil.



Figura.5.23. Base de mástil con anclas roscadas.



**Figura.5.24. Colocación de base de para rayos en la base de concreto**

Por último se hizo pasar conductor de calibre 6 AWG por los mástiles a lo largo de éstas, quedando unidas equipotencialmente con las líneas de PTR en cada extremo y así cumplir con el diseño planeado.

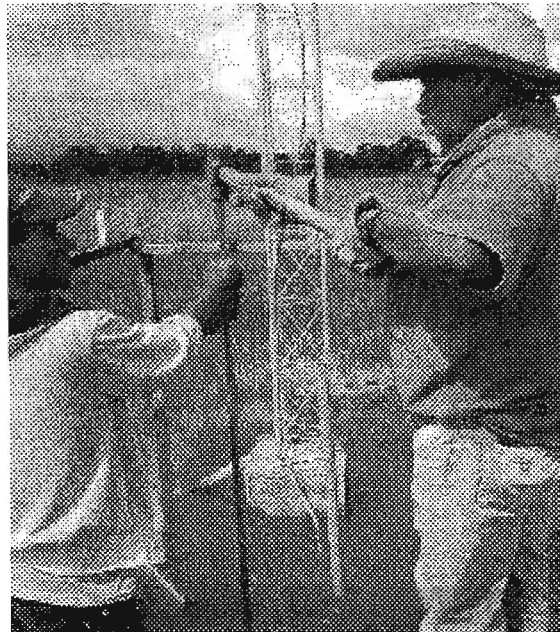
#### **5.4. Puesta en obra del sistema de protección contra sobretensiones**

Según el diagrama de la Figura 4.10 se instaló el dispositivo contra sobretensiones en paralelo en el tablero principal, otro en el tablero secundario de distribución de zona AR localizado en el cuarto de control, y uno más en el tablero secundario LR localizado en el laboratorio existente.

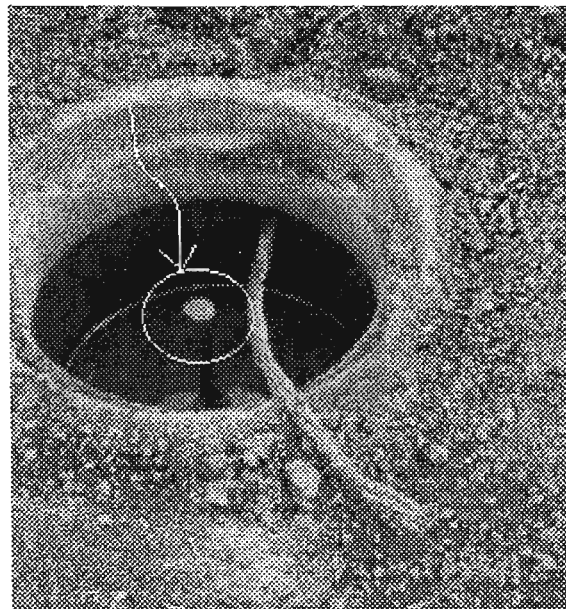
#### **5.5. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra.**

El punto principal y necesario para obtener un buen sistema de puesta a tierra, es drenar la corriente indeseada lo más rápido posible, con base a la resistividad del terreno, en este caso el ofrece buenas características, reflejadas en los 11.88 que tiene como valor de resistividad.

Los registros se colocaron en las excavaciones para este propósito, asimismo los electrodos de puesta a tierra se colocaron al centro de cada registro, alcanzando -2.50 m de profundidad, con ayuda de personal mediante herramienta como es el mazo, Figura 5.25. Al haber enterrado el electrodo de puesta a tierra por medio de mazo se deformó, Figura 5.26, por lo que se tuvo que corregir la deformación del electrodo de puesta a tierra con ayuda de equipo eléctrico (esmeril), Figura 5.27.



**Figura.5.25.Colocación de electrodo de puesta a tierra.**



**Figura.5.26.Deformación de electrodo de puesta a tierra.**



**Figura.5.27.** Corrección de la deformación del electrodo de puesta a tierra.

Después de lo cual, se hizo el tendido del cable que conforma el anillo, dejando las condiciones adecuadas para unir el electrodo con el conductor de puesta a tierra y con las bajadas de los pararrayos ó unión entre conductores utilizando soldadura exotérmica. El método empleado para este proceso químico es el siguiente: requiere de una limpieza completa, sin humedad y suciedad. El nivel de agua en el tubo de albañal se localizaba a su nivel máximo, Figura 5.28, por lo que se utilizó equipo eléctrico de bombeo de agua, Figura 5.29. Además fue necesario eliminar la humedad y la cantidad de agua que existía en el electrodo con la ayuda de un soplete. Posteriormente se dio limpieza con cepillo de alambre alrededor del mismo conductor. Enseguida se colocaron las dos partes que comprenden el molde del equipó de soldadura, teniendo cuidado de que sujetaran adecuadamente al conductor y electrodo de puesta a tierra, asegurándose de que no existiera alguna separación entre estas dos partes, teniendo esto listo se procedió a colocar la lámina de soporte para el material de soldadura. Después se colocó el material de soldadura y material de arranque que se encontraba ubicado en el fondo de cada tubo de material de soldadura, Figura 5.30, para terminar con este proceso de soldadura sólo se requirió de una herramienta de encendido nombrado chispero, Figura 5.31, se realizó la operación, se observó el momento en el que se realizó la reacción química, Figura 5.32, y después de un adecuado tiempo de espera se

retiran los moldes, con fines de que las condiciones físicas del momento no afectaran a la reacción, Figura 5.33.



**Figura 5.28. Nivel freático al momento de la instalación.**



**Figura.5.29. Bombeo de agua.**



Figura.5.30.Colocación de soldadura exotérmica.



Figura.5.331Momento de encendido.



**Figura.5.32.Momento de reacción de la soldadura exotérmica.**



**Figura.5.33.Fin del proceso de soldadura.**

El trabajo se realizó con las medidas de seguridad adecuadas: Se evitó la respiración de los humos o polvos durante la reacción química, se evitó el contacto con el metal fundido o caliente y se evitó la observación directa de la reacción. Además, se utilizaron lentes y guantes de seguridad.

Cabe mencionar que se realizó un procedimiento de muestra para la elaboración correcta de una soldadura, Figura 5.34.

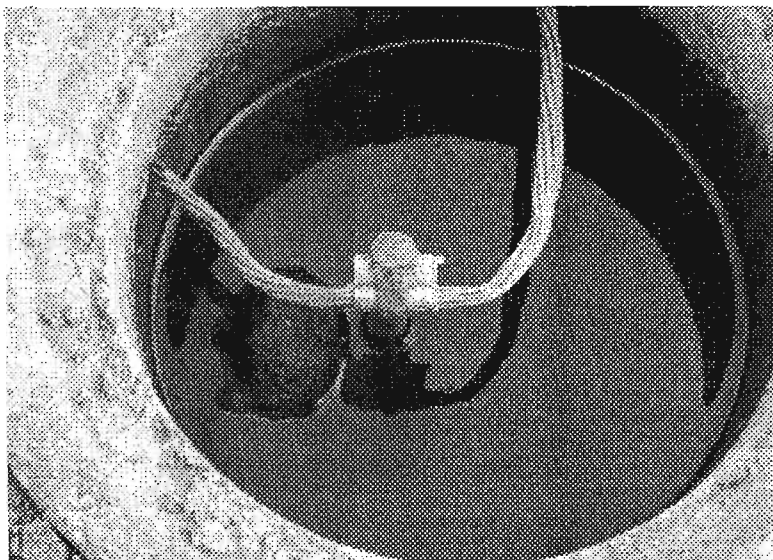


Figura.5.34. Muestra de soldadura-

#### 5.5.1. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra para los edificios.

El sistema de puesta a tierra instalado en la edificación del observatorio del radiotelescopio incluyen anillo perimetral para bajada de pararrayos, para la jaula de Faraday con que cuenta el cuarto de control y laboratorios, arreglo de un electrodo para acometida, arreglo en delta para la tierra aislada del cuarto de control, cubículos y laboratorios, y finalmente, unión equipotencial como es exigido por norma, ver plano IEP-05 en el apéndice.

Cada equipo electrónico que se encuentra trabajando dentro del cuarto de control o laboratorios debe conectarse a un bus de tierra, él cual es la terminal dentro del edificio del sistema de puesta a tierra aislada, colocado a 0.30 m de altura sobre el nivel de suelo.

Por último, para la culminación del sistema de puesta a tierra aislada y para cumplir con un sistema de puesta a tierra equipotencial en caso de transitorios, en cada uno de estos arreglos se realizó un enlace equipotencial al sistema de anillo perimetral correspondiente, Figura 5.35, ésta unión se realizó por medio de un equipo (Transient Earth Clamp). Una de las características que presenta este dispositivo, además de que es aislador de corrosión, tiene la característica de realizar la función de aislador durante procesos de trabajo estables y en caso de trabajos inestables (por transitorios) realiza la función de un conductor ya que al presentarse un transitorio su tiempo de respuesta es muy rápido en microsegundos.



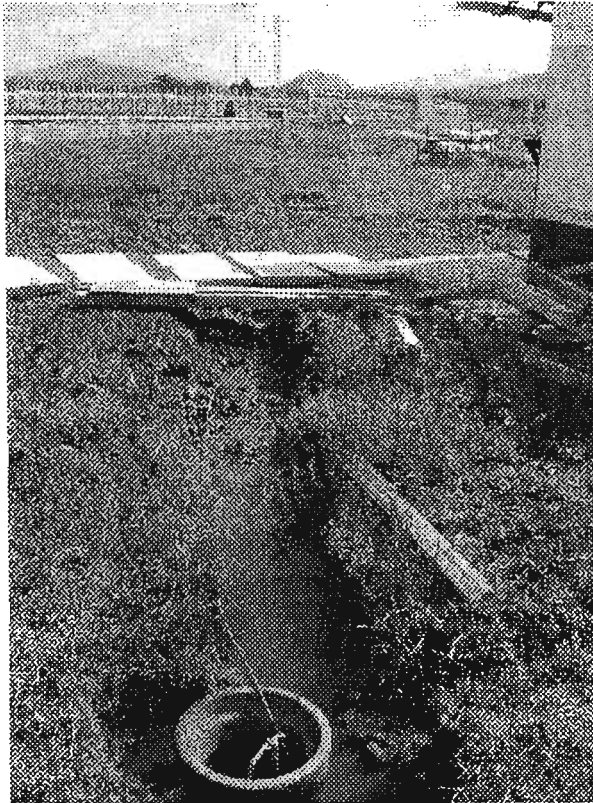


Figura.5.35.Unión equipotencial antena-taller.

#### 5.5.2. Puesta en obra del sistema de puesta a tierra para la antena.

Las bajadas de los pararrayos, así como del sistema de protección contra inducción electromagnética, están puestos a tierra con el anillo. Las uniones se realizan también con soldadura exotérmica.

Finalmente, se cubre la zanja con el conductor con el mismo tipo de material excavado, se instala el hilo de guarda sobre las torres y se colocan las puntas de para rayos.

# 6 ■ Evaluación del sistema de protección

Cuando ocurra un evento no deseado, el sistema de protección tiene que operar, de tal manera se debe asegurar que el sistema de protección contra descargas atmosféricas y el sistema de protección contra sobretensiones están apoyados por un buen sistema de puesta a tierra. Esta etapa constituye la validación de la instalación del sistema de protección y el tener el avance del proyecto, proporcionó las facilidades de realizar mediciones.

## **6.1. Evaluación del sistema de protección contra descargas atmosféricas y del sistema de protección contra sobretensiones.**

La evaluación del sistema de protección contra descargas atmosféricas consistió en determinar si el resultado cumple con normas, verificar la cantidad de elementos y dispositivos contemplados en catálogo de conceptos, así como su instalación adecuada.

De igual manera para el sistema de protecciones contra sobretensiones se verificaron las conexiones de los dispositivos, que incluyen el calibre adecuado de conductores de tierra y neutro.

## **6.2. Evaluación del sistema de Puesta a tierra**

Para evaluar este sistema se realizaron mediciones de resistencia, el medidor de resistencia de puesta a tierra (0-1000  $\Omega$ ) utilizado cuenta con tres bornes, cables determinados a una distancia fija y dos electrodos auxiliares, Figura 6.1. Se conectan de la siguiente manera, por dos de ellos se hace circular corriente de un electrodo auxiliar a un electrodo de prueba, y entonces se mide la caída de tensión entre un segundo electrodo auxiliar y el de prueba, Figura 6.2, ver sección 3.4.1.



Figura 6.1. Medidor de resistencia de puesta a tierra y sus accesorios.



Figura 6.2. Conexiones para medir la resistencia de puesta a tierra.

Entonces, se tomaron las mediciones, la resistencia del arreglo de puesta a tierra física para acometida, fue de  $4.5 \Omega$ , la máxima resistencia permitida para un electrodo es de  $R \leq 25\Omega$  [3], por lo que, cubre la condición.

También tenemos tierra aislada en arreglo en delta para cuarto de control su valor obtenido es  $1.3 \Omega$ , y para cubículos de investigadores y laboratorios tenemos  $1.1 \Omega$ . En cuanto al químico GEM, aún no se incorporaba al sistema, de manera que se espera reduzca un 50 % del valor actual. Se solicitó un valor de resistencia  $R \leq 1\Omega$ , entonces se cumplirá el objetivo.

Por otro lado, el blindaje tipo jaula de Faraday con que cuenta el cuarto de control y los cubículos, se conectan al anillo de puesta a tierra que rodea los edificios. Y finalmente, las mediciones de resistencia de puesta a tierra para la protección de descargas atmosféricas, constituida por un anillo que rodea los edificios y la antena, al que serán conectadas las bajadas de los pararrayos, se reúnen en la Tabla 6.1. Comparándolo con el promedio de estas mediciones tenemos  $R = 2.53 \Omega$ , se recomienda que el electrodo de bajada de las puntas pararrayos tenga una  $R < 10\Omega$ , por lo que cubre la condición.

Podemos analizar los datos en conjunto, ver Tabla 6.1.

Haciendo una comparación, vemos que existe una buena aproximación de valores, sin embargo las diferencias se deben a la alteración de la medición debido a conductores cercanos que superponen el campo eléctrico, también se deben a la alteración de las condiciones del terreno debido a la introducción de material tipo escombros por la reciente obra de construcción, con este factor justificamos la medición No. 6 de las bajadas de los pilares de  $8 \Omega$ . Además de la diferencia en cuanto a aparatos usados para la medición de resistencia, cada uno con su propia precisión. Cabe mencionar que se realizó la evaluación en época no extremosa (entre época de sequía y época de precipitaciones pluviales), de manera que entre las dos mediciones hubo una marcada diferencia de temperatura, factor que sin duda influyó en la diferencia de valores, se espera que en épocas de precipitaciones pluviales se mejoren aún más los valores de resistencia.

Finalmente, podemos calcular la nueva resistividad, teniendo como referencia la Ecuación (4.1), donde los electrodos de prueba son de 3 m de largo [L] y 0.015875 m de diámetro [D].

$$\rho = \frac{2(4.5)\pi(2.7)}{\text{Ln}\left(\frac{4(2.7)}{0.015875} - 1\right)} = 12.8 \Omega\text{m} \quad (6.1)$$

Tomando en cuenta las mismas dimensiones del electrodo de prueba y siguiendo el mismo procedimiento con todas las mediciones completamos la Tabla 6.1 con el valor de  $\rho$ .

Eliminando la resistividad más grande 22.8 y la más pequeña 2.8, ambas de las mediciones tomadas de las bajadas de los pararrayos para protección de la antena, se obtiene el promedio de los datos restantes.

$$\rho_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} = \frac{142.5}{21} = 6.8\Omega\text{m}$$

Por lo que también se espera la disminución de este valor. La instalación puede considerarse como segura, a pesar de la posibilidad de mejorar la instalación, por ejemplo la introducción del químico GEM para cumplir estrictamente con los valores diseñados.

Tipo de tierra	No. Medición	R[Ω] medida	$\rho$ [Ωm]	R[Ω] calculada
Tierra física en acometida	1	4.5	12.8	4.2
Tierra aislada	1. Cuarto de control	1.3	3.7	0.9
	2. Cubículos y laboratorios	1.1	3.1	
Tierra para bajada de pararrayos	1. Bajada pilar 1	5	14.2	4.2
	2. Bajada pilar 2	1.9	5.4	
	3. Bajada pilar 3	3	8.5	
	4. Bajada pilar 4	2	5.7	
	5. Bajada pilar 5	1.5	4.3	
	6. Bajada pilar 6	8	22.8	
	7. Bajada pilar 7	1.9	5.4	
	8. Bajada pilar 8	6.5	18.5	
	9. Bajada pilar 9	6	17.1	
	10. Bajada pilar 10	1.8	5.1	
	11. Bajada torre 1	1.6	4.6	
	12. Bajada torre 2	1.5	4.3	
	13. Bajada torre 3	1.6	4.6	
	14. Bajada torre 4	2	5.7	
	15. Bajada torre 5	1.1	3.1	
	16. Bajada torre 6	1.3	3.7	
	17. Bajada mástil 1	1.4	4	
	18. Bajada mástil 2	1.7	4.8	
	19. Bajada mástil 3	1	2.8	
	20. Bajada mástil 4	1.4	4	

Tabla 6.1. Recopilación de mediciones de resistencia del terreno.

# 7 ■ Conclusiones y recomendaciones

Garantizamos la operación del Sistema de protección contra riesgos eléctricos del Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario de Coeneo, Michoacán, en caso de necesitarlo.

Las puntas Faraday en los edificios, están ubicadas e instaladas, de manera que, se asegura la protección contra descargas atmosféricas. Un objetivo cumplido parcialmente, es la protección de la antena, la altura diseñada para un nivel de protección máxima fue calculada con base a la Ecuación (3.6) y gráfica (3.11), bajo el criterio de la esfera rodante. Esta altura obtenida y presentada para el proyecto fue de 16 m, en la cual se obtenía una protección del 82%. La altura actual, la decidieron los responsables del proyecto. Por otro lado, la instalación de los dispositivos contra sobretensiones, aportan la seguridad de trabajar en la sala de cómputo ó en el cuarto de control, y no perder datos o daño a equipo. Y finalmente, a partir del valor de resistencia obtenido, gracias a la implementación de los arreglos de puesta a tierra, garantizamos su operación, en caso de ocurrir un evento que lo solicite.

Es relevante mencionar y reconocer que la elaboración de un proyecto por complejo o fácil que parezca, tiene un valor ético, por los factores que están involucrados. El desarrollo del presente proyecto requirió de un adecuado nivel de responsabilidad, con el fin de alcanzar los objetivos. Adquiere más importancia aún, por la oportunidad que se nos dio de elaborar este trabajo de principio a fin por parte del personal encargado del radiotelescopio, que confió en nuestras aptitudes como estudiantes de la Facultad de Ingeniería, ya que con la experiencia obtenida durante este transcurso de periodo de trabajo, investigación y reuniones con personal calificado, nos dimos cuenta que no es fácil que se presenten este tipo de oportunidades, casi siempre como medio de garantía se confía en personal con experiencia.

Parte importante para haber logrado un buen diseño del proyecto fue conocer las causas y motivos por los cuales fue creado el radiotelescopio, de ahí parte el diseño, la implementación y la evaluación del sistema de protección. Además, este trabajo fue considerado y analizado para no perder algún detalle importante que pudiera traer consecuencias directas o indirectas, brindando plena confianza para trabajar y realizar sus estudios científicos sin posibles alteraciones o consecuencias.

La elaboración de cualquier proyecto impone la necesidad de tener conocimientos recientes de normas, libros y publicaciones; es importante considerar que conforme pasa el tiempo la información se actualiza, y hay que estar al día. Cabe mencionar que parte de las actualizaciones de información no son de fácil acceso, esto por políticas de las mismas empresas. Este proyecto esta basado en información reciente, según se nos permitió, por limitantes técnicas.

Durante el proceso de instalación y con la interacción del personal involucrado en esta labor, se afirmaron nuestros conocimientos teóricos. Dar seguimiento constante a nuestro proyecto fue importante, porque se aprendieron factores como el realizar en coordinación un proyecto, de esta forma se evitó la mayor parte de cualquier tipo de mala interpretación o ejecución del proyecto, por parte del personal responsable a realizar el trabajo. Asimismo se observaron algunos aspectos, los cuales ponemos a su consideración.

Cuando el transformador de alimentación de la acometida se encuentra situado fuera de la edificación, se debe hacer como mínimo otra conexión de puesta a tierra desde el conductor puesto a tierra de la acometida hasta el electrodo de puesta a tierra del transformador, garantizando equipotencialidad. En este caso, el transformador que da el servicio al radiotelescopio (ubicado a 200 m de la acometida), no cuenta con su puesta a tierra, misma que debe ser instalada por parte de la CFE, lo cual implica un mayor riesgo de eventos no deseados, se recomienda tener contacto con la empresa para realizar la petición de esta puesta a tierra.

Por otro lado, existe una inadecuada instalación por parte de los conductores ubicados en el tablero principal y el del cuarto de control, ya que estos se encuentran colocados en forma excesiva, es decir a causa de esto los conductores se encuentran enrollados y colocados dentro de los mismos tableros lo cual en un posible momento podrían causar un calentamiento, lo cual hay riesgo de que exista



un posible daño al equipo que se trata de proteger, ubicado dentro de estas instalaciones. Este tipo de problema puede provocar que el diseño de protección tenga problemas para operar, en caso de necesitarlo y en algún momento se pueda responsabilizar al diseño de protección.

Debido a modificaciones recientes a las instalaciones del Radiotelescopio, principalmente se puede rediseñar el sistema de protección contra inducción electromagnética, cambiando el blindaje localizado alrededor de la antena, por la protección alrededor de todo el perímetro de las instalaciones. Ya que se instaló recientemente malla ciclónica, como limitante del terreno, y si es debidamente puesta a tierra, puede servir como nuevo blindaje.

Cabe mencionar, que en el tiempo de trabajo de instalación de la obra, bajo condiciones de intensas lluvias, relámpagos y rayos, no resultó del todo malo, ya que nos demostró a los investigadores/usuarios y diseñadores, la necesidad de una protección integral.

El presente proyecto garantiza un alto grado de protección, el cual dará, durante el transcurso del tiempo resultados satisfactorios, así como confianza y seguridad al personal que esté laborando.

Finalmente, se debe tomar en cuenta, la planeación del mantenimiento del sistema, por lo menos cada año, de otro modo no se garantiza la protección.

# 8 ■ Información consultada

## Normas

- [1]. Norma Oficial Mexicana NOM 001, Sede 1999, Instalaciones Eléctricas.
- [2]. NFPA 780. Standard for the Installation of Lightning Protection Systems 1999.
- [3]. IEEE Std 142-1982: Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, Book-green.
- [4]. IEEE Std 1100-1992: Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment, Book emerald.
- [5]. IEEE Std C62.41-1991: Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits.
- [6]. UL Standard for Safety for Transient Voltage Surge Suppressors, UL 1449. Segunda edición, 1996. Revisión 1999.
- [7]. Norma IEC 61024. Protection of Structures Against Lightning.

## Libros

- [8]. López Monrroy, Guillermo. Sistemas de tierra.
- [9]. Hasse, Peter. Protección contra sobretensiones de instalaciones de baja tensión. Ed. Paraninfo. España, 1991.
- [10]. Umrah S. Inan y Asís s Inan. Electromagnetic waves. Ed. Prentice—Hall. 2000.
- [11]. De la Vega. Problemas de Ingeniería de puesta a tierra. Ed. Limusa.
- [12]. Reitz, John y Milford, Frederick. Fundamentos de la teoría electromagnética. Unión tipográfica editorial Hispano-americana. 1972.
- [13]. García Márquez Rogelio. La puesta a tierra de instalaciones eléctricas. Ed. Marcombo. 1991.

## Catálogos

- [14]. Material de pararrayos AMESA.
- [15]. Material eléctrico ANPASA.
- [16]. Material para soldar Cadwell.
- [17]. Dispositivos contra sobretensiones ERICO.
- [18]. Condumex
- [19]. Conductores Monterrey

## Sitios en Internet

- [20]. <http://prospero.igeofcu.unam.mx>
- [21]. <http://www.ncra.tifr.res.in>
- [22]. [http://www.stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/uhf\\_ant-e.html](http://www.stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/uhf_ant-e.html)
- [23]. <http://www.eiscat.com>
- [24]. <http://ariel.igeofcu.unam.mx>
- [25]. <http://www.metatechcorp.com>
- [26]. <http://science.nasa.gov>
- [27]. <http://www.nap.edu/openbook/0309036801/html>
- [28]. <http://123.248.6.33/skylab/boletin>
- [29]. <http://agu.org>
- [30]. <http://www.spaceweather.gc.ca>

## Tesis

- [31]. Hernández Ordoñez R. Y Lora de la Fuente C. 2003. Instalación de un Observatorio Magnético estándar de última generación: estudio geofísico, emplazamiento y operación. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- [32]. Andrade Mascote E. 2000. Diseño y construcción del Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario en Teoloyucán Estado de México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- [33]. Carrillo Vargas A. 1998. Detección de perturbaciones del viento solar por medio del centelleo interplanetario de fuentes de radio estelares. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.

- [34]. Carrillo Vargas A. 1998. Estudio del viento solar por medio del centelleo interplanetario y el arreglo de gran superficie de México. Tesis de maestría. Instituto de Geofísica. UNAM.
- [35]. León Tavares J. Diseño y construcción del arreglo dipolar de gran área del Radiotelescopio de centelleo interplanetario en Coeneo, Michoacán. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM.

### Otros

- [36]. Planos del Radiotelescopio
- [37]. Hernández Quintero E. y Carrillo Vargas A. Reportes internos 2003-12. Magnetometría en el observatorio de centelleo interplanetario y sus alrededores en Coeneo, Michoacán.
- [38]. Uman, Martín. Natural Lightning. IEEE. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Florida.
- [39]. Jambak, Irfan. Measurement of grounding system resistanse based on ground high frequency behavior for different soil type.

### Asesoría

- [40]. Ing. López Monrroy Guillermo.
- [41]. Ing. Martínez Acosta Arturo.



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

Apéndice 9.1

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
	3.3.6.	SISTEMA DE PARARRAYOS				
		CABLES Y ACCESORIOS				
		AULA MAGNA				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	30		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	26		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	1		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	1		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	1		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE	PZA	1		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b>	Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>			<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	1		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	1		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	1		
		<b>CUARTO DE MÁQUINAS</b>				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	35		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	30		



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b>	Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>			<b>Fecha: May-2005</b>

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC. COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	1		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	3		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	1		
		<b>LABORATORIOS</b>				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	6		



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

Apéndice 9.1

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACION:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha: May-2005</b>

Nº.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	6		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	46		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	40		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTADOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		





DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

Apéndice 9.1

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	2		
		<b>CUBÍCULOS Y CASAS HABITACIÓN</b>				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA, CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	9		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	9		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	98		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	PZA	85		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	PZA	3		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	PZA	3		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIÁMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	3		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b>	Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>			<b>Fecha: May-2005</b>

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	3		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	9		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	3		
		<b>CUARTO DE CONTROL</b>				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	3		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	30		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	26		



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b>	Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>			<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	2		
		TALLER				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	4		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		Apendice 9.
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	4		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	34		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	34		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC. COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

Apéndice 9.1

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
		<b>CASETA</b>				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	15		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	15		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTADOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	2		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha: May-2005</b>

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	2		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
		ANTENA				
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	28		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	18		
3		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 AWG A CABLE CALIBRE 1/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	M	12		
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTADOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	32		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	32		



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		Apéndice 9.1
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
7	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD. BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	32		
8	3.3.6.010.1	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO, CALIBRE 6 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	690		
9		SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE ACERO, CALIBRE 1/0 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	1,125		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PARA ANCLAJE DE TORRE TRIANGULAR AMESA CAT AT29-B. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TRAMO DE TORRE TRIANGULAR DE 6 M AMESA CAT AT29. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	12		
12		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REMATE DE TORRE TRIANGULAR AMESA CAT AT29. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	6		
13		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MÁSTIL Y BASE TUBULAR DE ACERO INOXIDABLE DE 2 M DE LONGITUD. AMESA CAT AME-187. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	4		
14		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONECTOR PARA BASE TUBULAR Y CONDUCTOR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS .	PZA	4		
15		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA PARA SUJETAR CABLE A SOLERA DEL PILAR. MARCA FCI, TIPO GAR CAT - GAR1429. INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	40		
16		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONECTOR PARA HILO DE GUARDA Y TORRE.CATALOGO C-306-A, MARCA ANPASA. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS .	PZA	6		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
	3.3.6.	SISTEMA DE TIERRAS				
		CABLES Y ACCESORIOS				
1	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 15,875 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	31		
2		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	2		
3	3.3.6.010.1	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO, CALIBRE 1/0 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	380		
4	3.3.6.010.2	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE COBRE CON FORRO COLOR VERDE, CALIBRE 2/0 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	50		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	31		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REDUCTOR DE RESISTIVIDAD TIPO GEM, MARCA ERICO, EN BULTO DE 13,5 Kg. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	BULT	12		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA BUS DE TIERRA, DE ACRÍLICO CON BARRA DE COBRE Y AISLADORES. AMESA CAT AME-079. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	3		





DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN

Apéndice 9.1

Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b> 1
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NUMERO	PRECIO CON LETRA
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE EQUIPO PARA ENLACE DEL SISTEMA DE TIERRAS (TRANSIENT EARTH CLAMP), MARCA ERICO, CAT TEC-100C. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
9		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO EN "T". INCLUYE MOLDE TIPO GTC-162C, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	27		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 AWG A CABLE CALIBRE 1/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	M	11		
<b>SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES TRANSITORIAS</b>						
1		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SERVICE ENTRANCE PREMIUM, MARCA ERICO, CAT CRITEC SEP400 . INCLUYE MATERIALES, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA	3		
<b>TODO</b>						
1	3.3.6.020.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUNTA MACIZA DE COBRE CROMADA DE 30 CM DE ALTURA, ANPASA CAT C-85-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	58		
2	3.3.6.020.2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PLANA PARA PUNTA ANPASA CAT C-60 . INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA . CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	48		
3	3.3.6.015	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CABLE DE COBRE TRENZADO DE 28 HILOS DE 13.7 MM DE DIÁMETRO, ANPASA CAT C-40 PARA PARARRAYOS. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	288		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b> Apéndice 9
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
4		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA PARA CABLE PARARRAYOS EN TECHO Y PARED. ANPASA CAT C-121-A. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	288		
5		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DESCONECTADOR DE TIERRA. ANPASA CAT C-303-X. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	20		
6		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBO AISLANTE DE PVC, COLOR VERDE OLIVO DE 19 MM Y 3 M DE LONGITUD. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	14		
7		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	12		
8		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REGISTRO PARA ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA, DE TUBO DE ALBAÑAL DE 30 CM DE DIAMETRO Y 1,1 M DE LARGO, CON TAPA DE CONCRETO COLADA EN SITIO Y AGARRADERAS DE ALAMBRÓN CALIBRE 10 AWG, INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	76		
9	3.3.6.035	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VARILLA TIPO COOPERWELD DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE COBRE, DE 19,5 MM (5/8") DE DIÁMETRO Y 3.05 M DE LONGITUD, BURNDY. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	PZA	76		
10		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA TIPO OMEGA PARA SUJETAR TUBO AISLANTE DE PVC. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	42		
11		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 4/0 AWG A CABLE CALIBRE 4/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	ARG	9		
12		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 AWG A CABLE CALIBRE 1/0 AWG. INCLUYE MOLDE TIPO TAC2B2B, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	M	23		
13		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO. INCLUYE MOLDE TIPO GRC-162Q, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	32		



Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		Apéndice 9.1
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha:</b> May-2005

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
14	3.3.6.010.1	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO, CALIBRE 6 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	690		
15		SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE ACERO, CALIBRE 1/0 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	1,125		
16		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BASE PARA ANCLAJE DE TORRE TRIANGULAR AMESA CAT AT29-B. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	6		
17		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TRAMO DE TORRE TRIANGULAR DE 6 M AMESA CAT AT29. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA .	PZA	12		
18		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE REMATE DE TORRE TRIANGULAR AMESA CAT AT29. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	6		
19		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MÁSTIL Y BASE TUBULAR DE ACERO INOXIDABLE DE 2 M DE LONGITUD. AMESA CAT AME-187. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	4		
20		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONECTOR PARA BASE TUBULAR Y CONDUCTOR. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS .	PZA	4		
21		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ABRAZADERA METÁLICA PARA SUJETAR CABLE A SOLERA DEL PILAR. MARCA FCI, TIPO GAR CAT - GAR1429. INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS.	PZA	40		
22		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONECTOR PARA HILO DE GUARDA Y TORRE.CATALOGO C-306-A. MARCA ANPASA. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTAS .	PZA	6		
23	3.3.6.010.2	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE CABLE DE COBRE CON FORRO COLOR VERDE, CALIBRE 2/0 AWG, CONDUMEX O CONDUCTORES MONTERREY. INCLUYE: MATERIALES, DESPERDICIOS, MANO DE OBRA, ANDAMIOS, HERRAMIENTA Y PRUEBAS. CONFORME A LA ESPECIFICACIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN: 3.3.6. P.U.O.T.	M	50		



**DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN**

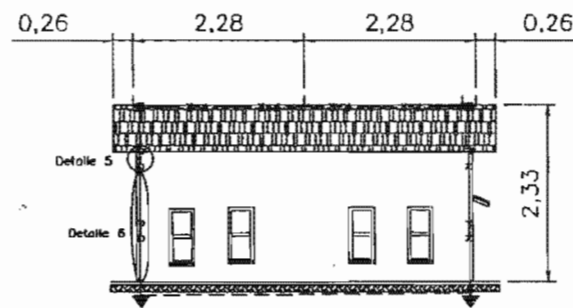
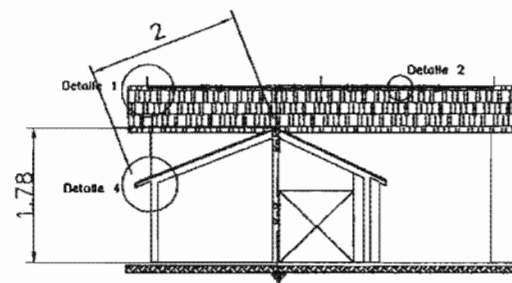
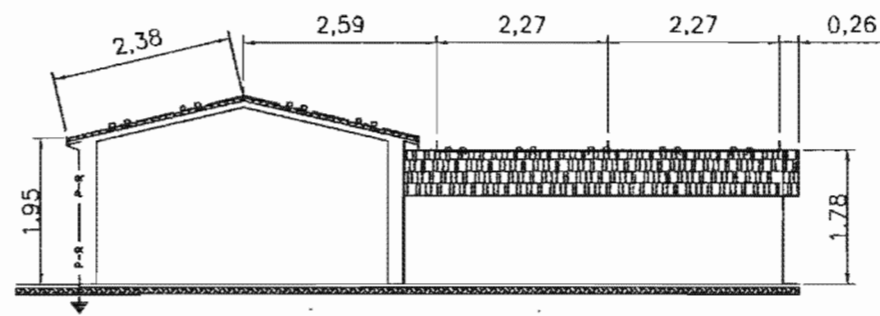
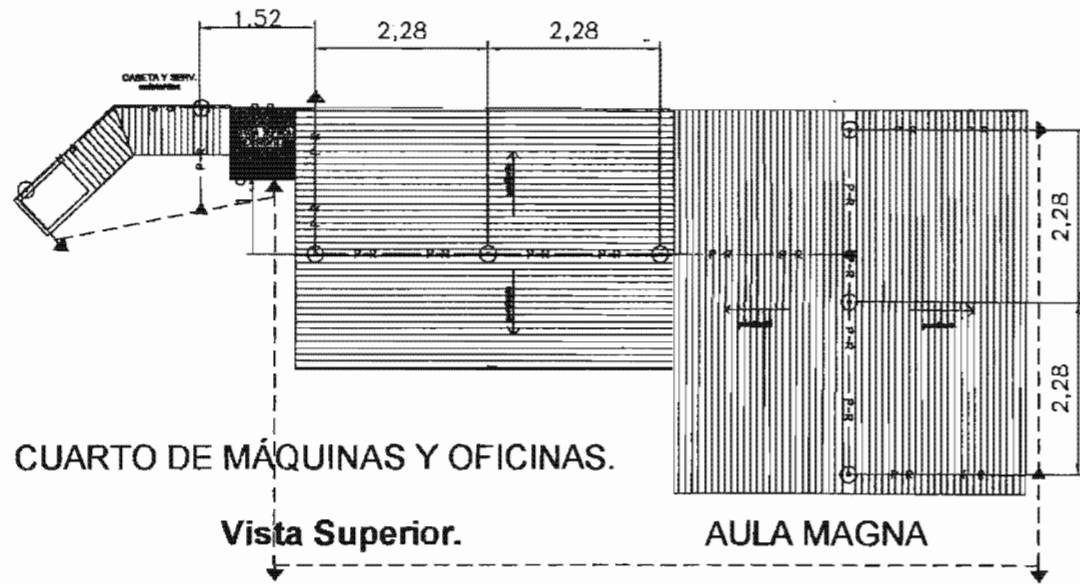
Apéndice 9.1

Apéndice 9.1

**Costos Unitarios según criterios de Calidad y Medición indicados en las Especificaciones Generales de Construcción de la D.G.O.C. de la U. N. A. M.**

<b>OBRA:</b> Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario	<b>NOTA:</b> Es indispensable apoyarse en las especificaciones Generales de la D.G.O. para conocer el alcance real del concepto.	<b>Hoja No.:</b>
<b>UBICACIÓN:</b> Coeneo, Michoacán		
<b>CONSTRUCTORA:</b>		<b>Fecha: May-2005</b>

No.	ESPECIFICACIÓN	ENUNCIADO DEL CONCEPTO	U	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	
					PRECIO CON NÚMERO	PRECIO CON LETRA
24		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA BUS DE TIERRA, DE ACRÍLICO CON BARRA DE COBRE Y AISLADORES, AMESA CAT AME-079. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	3		
25		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE EQUIPO PARA ENLACE DEL SISTEMA DE TIERRAS (TRANSIENT EARTH CLAMP), MARCA ERICO, CAT TEC-100C. INCLUYE MATERIALES, DESPERDICIOS Y MANO DE OBRA.	PZA	2		
26		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO CADWELD, DE CABLE CALIBRE 1/0 AWG A VARILLA DE COBRE DE 16 MM DE DIAMETRO EN "T". INCLUYE MOLDE TIPO GTC-162C, CARGA No. 90, MANIJA, MATERIALES, DESPERDICIOS Y HERRAMIENTAS.	CARG	27		
27		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SERVICE ENTRANCE PREMIUM, MARCA ERICO, CAT CRITEC SEP400. INCLUYE MATERIALES, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA	3		

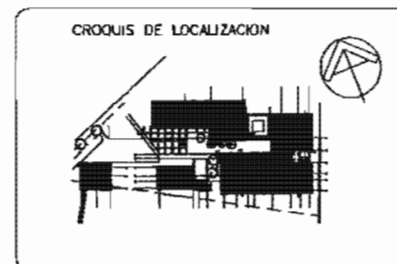


### SIMBOLOGIA

- PUNTA MACIZA INOXIDADA DE COBRE DE 0.30m DE LARGO, CATALOGO N° C-80-A, MARCA AMPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- UNION TIPO T DE CONDUCTORES DE COBRE DE 25 HILOS
- ↓ ELECTRODO TIPO VARILLA COPPERWELD DE 18.5mm DE DIAMETRO Y 3.05m DE LONGITUD.
- CABLE DE COBRE DESHIGADO DE 25 HILOS DE 1.17 mm DE DIAMETRO CATALOGO C-103, MARCA AMPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- ▼ UNION DE CONDUCTORES

### NOTAS

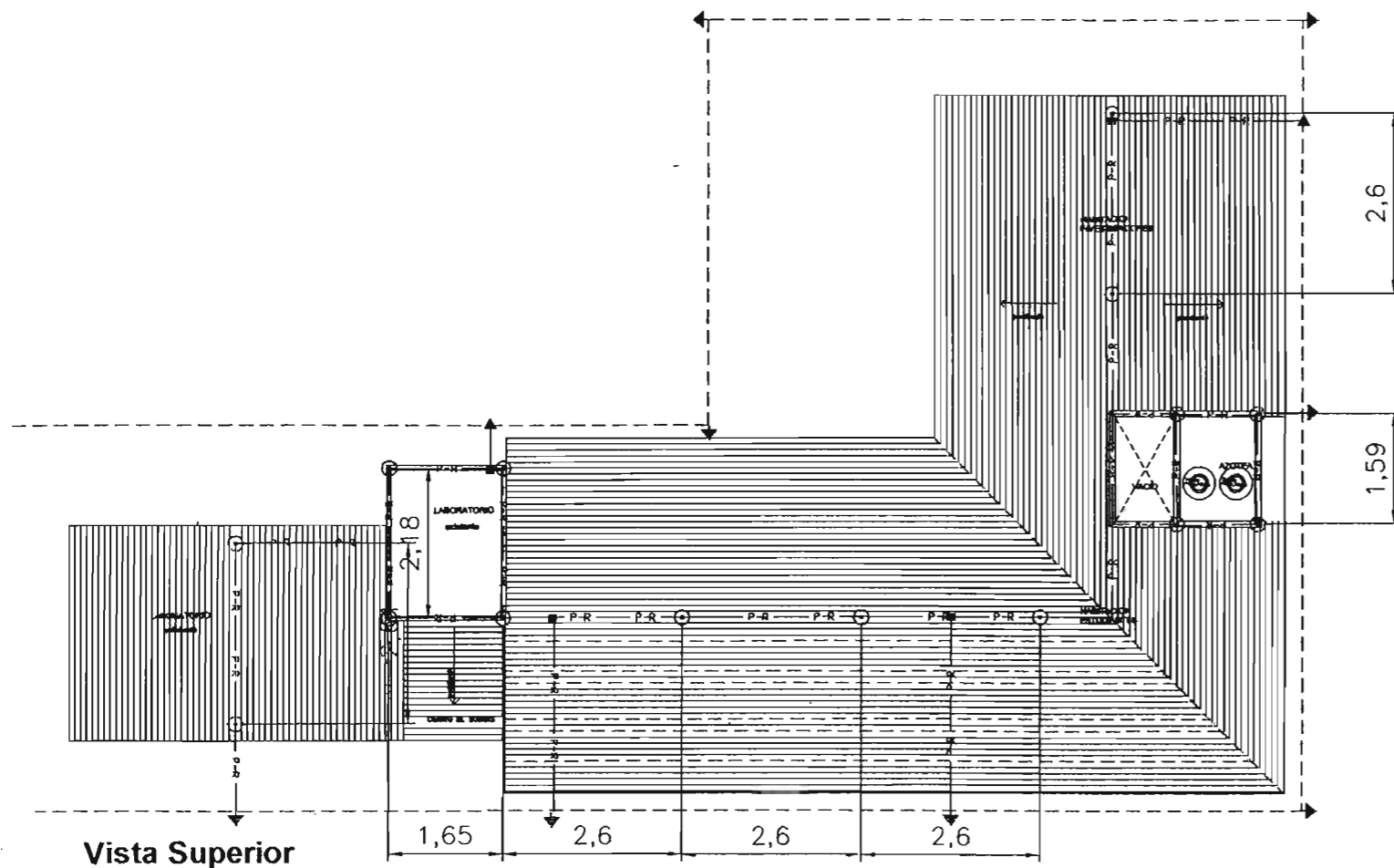
- 1.-ESTE PLANO ES ÚNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN UNICARSE.
  - A) CONECTAR A LOS CONDUCTORES DE BANDA DE TIERRA.
  - B) FUERA DE OBTENTACIONES.
  - C) SEPARADOS POR LO MENOS UNO M DE LA CONSTRUCCION.
  - D) DE PREFERENCIA DONDE EL TERRENO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE O ESTE EN EL MAXIMO CONTACTO CON LA HUMEDAD.
- 2.-EN LAS PRUEBAS PARA CONSIDERAR SATISFACITORIA LA INSTALACION SE DEBERA TENER:
  - A) CONTINUIDAD TOTAL EN SUS CIRCUITOS QUE PUEDAN COMPROMETERSE, HACIENDOSE PASAR UNA CORRIENTE A TRAVES DE ELLOS.
  - B) RESISTENCIA MECANICA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
  - C) RESISTENCIA A TIERRA ADECUADA EN SUS ELECTRODOS, SE CONSIDERAN FACTORES SATISFACITORIOS MEDIDOS HASTA 10 OHMS PARA CADA ELECTRODO INDEPENDIENTE.
- 3.-EL CONDUCTOR SE DEBE FIJAR FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA METRO POR MEDIO DE ABRAZADERAS CAT. C-121-A, MARCA AMPASA.
- 4.-LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PARARRAYOS NO SE DEBEN USAR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y SISTEMAS, ESTA PREVISION NO ESTA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- 5.-LOS CONDUCTORES PARA LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA A LA VARILLA TIPO COPPERWELD DEBE SER DE TIPO SOLDADURA ELECTROTERMICA.
- 6.-LAS BAJAS DE PUESTA A TIERRA DEBERAN PROTEGERSE CON UN TUBO CONCAIT DE PVC, VERDE OLIVO DE 18 mm DE DIAMETRO Y 3 m DE LONGITUD.



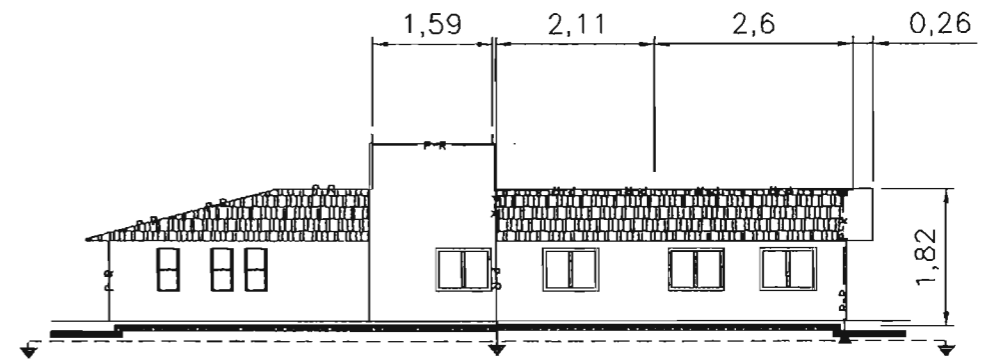
FIRMA DE USUARIO

DR. AMERICO GONZÁLEZ ESPARZA  
RESPONSABLE DE PROYECTO.

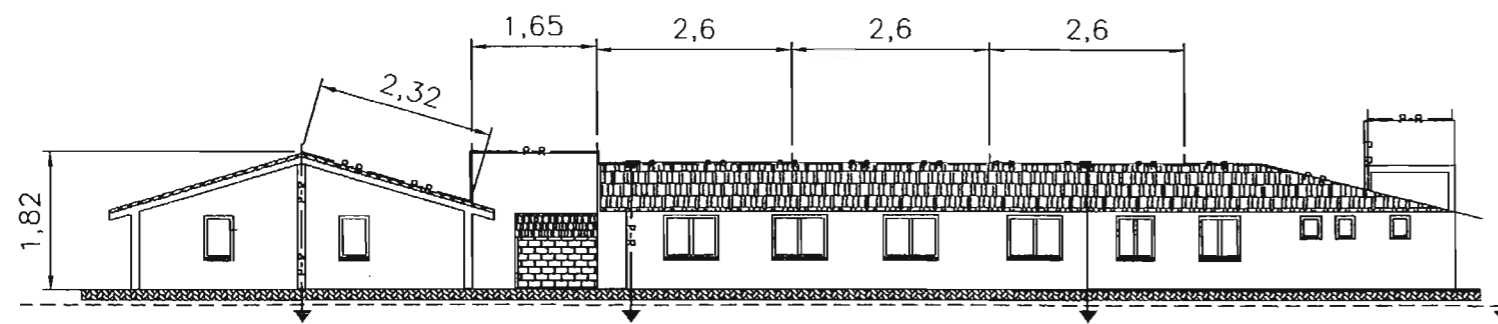
<p>SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCIONES</p>	<p>OPORTUNIDAD: INSTITUTO DE GEOFISICA</p> <p>PROYECTO: OBSERVATORIO DE CENTELLEO INTERPLANETARIO.</p> <p>UBICACION: COENEO, MICHOACAN</p>	<p>1 6</p> <p>IEP-01</p>	<p>FECHA: / /</p> <p>ESCALA: 1:100</p> <p>HOJA: 1 DE 1</p>
	<p>SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCIONES</p>	<p>INSTALACION ELECTRICA</p> <p>PARARRAYOS</p> <p>AULA MAGNA Y CUARTO DE MAQUINAS</p>	<p>1 6</p> <p>IEP-01</p>
<p>ING. RICARDO RAMÍREZ ORTIZ Director General</p>	<p>ING. RUBÉN CÁNCICH FLORES Director de Proyecto</p>	<p>ING. EMILIO G. GONZÁLEZ CASTILLO Director de Intervención</p>	<p>DR. DE PROYECTOS D.G.O. Y C. P.R.</p>



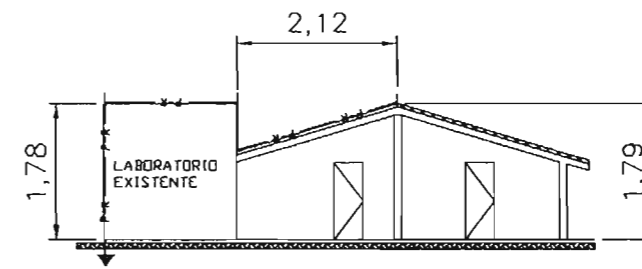
Vista Superior



Vista Lateral (este)



Vista Trasera (sur)



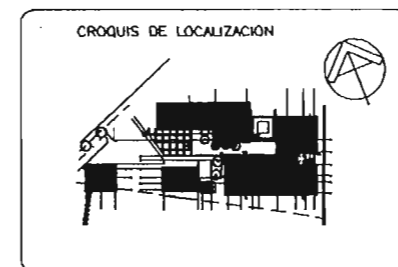
Fachada Norte Laboratorios Existentes

**NOTAS**

- 1.- ESTE PLANO ES ÚNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN UBICARSE:
  - A) CERCANOS A LOS CONDUCTORES DE BANDA DE TIERRA.
  - B) FUERA DE OBIENTACIONES.
  - C) SEPARADOS POR LO MENOS 0.30m DE LA CONSTRUCCION.
  - D) DE PREFERENCIA DONDE EL TIERRONO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE O ESTE EN EL MAXIMO CONTACTO CON LA HUMEDAD.
- 2.- EN LAS PRUEBAS PARA CONSIDERAR SATISFACTORIA LA INSTALACION SE DEBERA TENER:
  - A) CONTINUIDAD TOTAL EN SUS CIRCUITOS QUE PUEDAN COMPROBARSE, HACIENDOSE PASAR UNA CORRIENTE A TRAVES DE ELLOS.
  - B) RESISTENCIA MECANICA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
  - C) RESISTENCIA A TIERRA ADECUADA EN SUS ELECTRODOS, SE CONSIDERAN FACTORES SATISFACTORIOS MEDIDOS HASTA 10 OHMS PARA CADA ELECTRODO INDEPENDIENTE.
- 3.- EL CONDUCTOR SE DEBE FIJAR FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA METRO POR MEDIO DE ABRAZADERAS CAT. C-121-A, MARCA AMPASA.
- 4.- LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PARARRAYOS NO SE DEBEN USAR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y SISTEMAS, ESTA PREVISION NO ESTA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- 5.- LOS CONDUCTORES PARA LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA A LA VARILLA TIPO COPPERWELD DEBE SER DE TIPO SOLDADURA EXOTERMICA.
- 6.- LAS BANDAS DE PUESTA A TIERRA DEBERAN PROTEGERSE CON UN TUBO CONDUIT DE PVC VERDE OLIVO DE 18 mm DE DIAMETRO Y 3 m DE LONGITUD.

**SIMBOLOGIA**

- PUNTA MACIZA HEMISFERICA DE COBRE DE 0.30 m DE LARGO, CATALOGO C-85-A, MARCA AMPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- UNION TIPO "T" DE CONDUCTORES DE COBRE DE 28 HILOS.
- ⏏ ELECTRODO TIPO VARILLA COPPERWELD DE 19.3 mm DE DIAMETRO Y 3.05 m DE LONGITUD.
- CABLE DE COBRE DESNUDO DE 28 HILOS DE 13.7 mm DE DIAMETRO, CATALOGO C-40, MARCA AMPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- ▼ UNION DE CONDUCTORES.

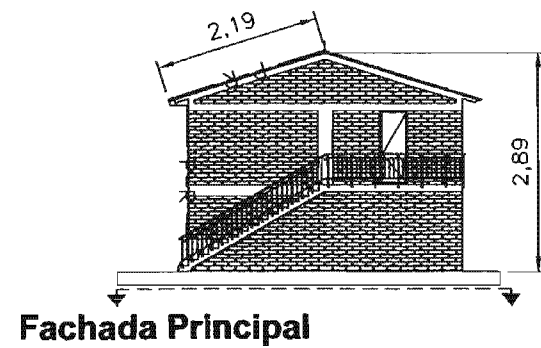
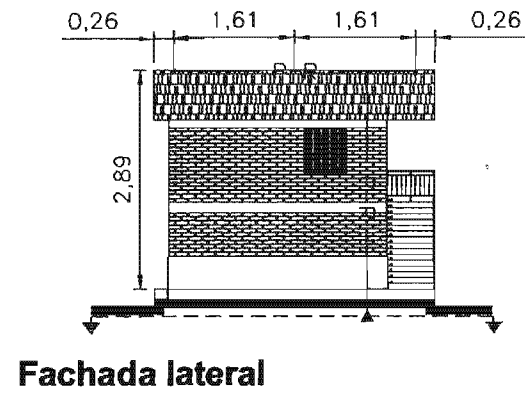
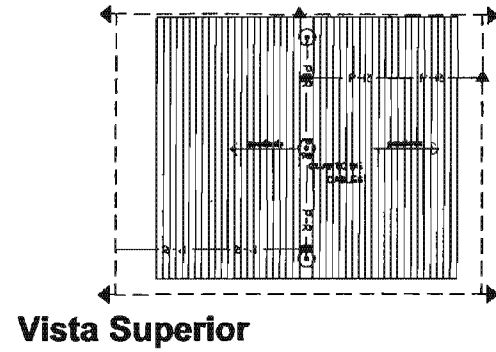


FIRMA DE USUARIO

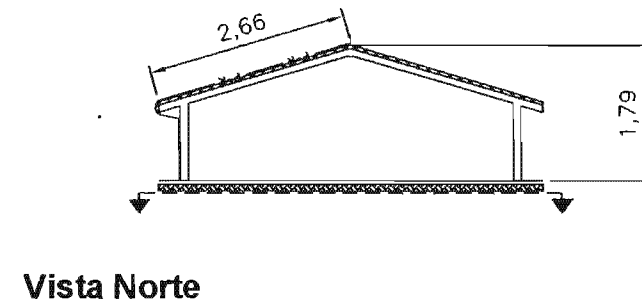
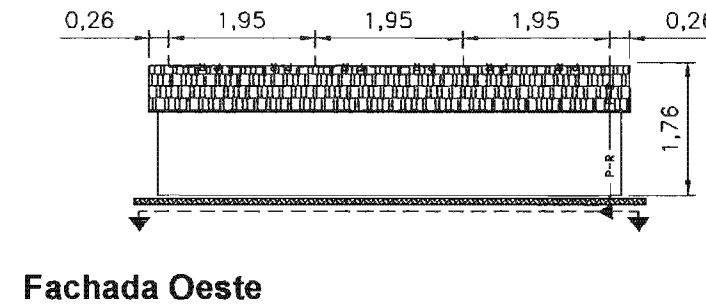
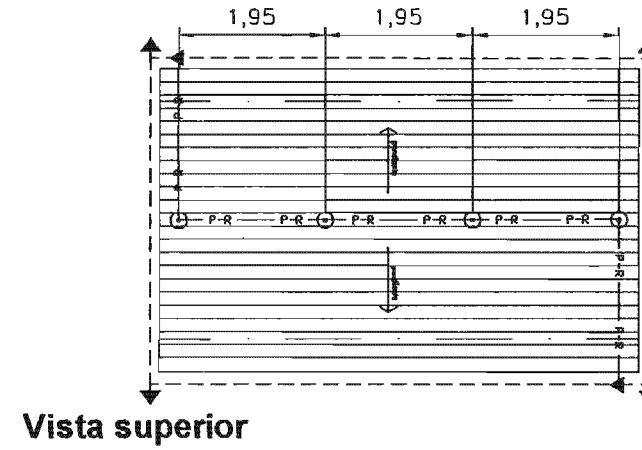
DR. AMERICO GONZÁLEZ ESPARZA.  
RESPONSABLE CIENTIFICO

<p>SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCION</p>	INSTITUTO DE GEOFISICA PROYECTO OBSERVATORIO DE CENTELLEO INTERPLANETARIO. COENEO, MICHOACAN	2 / 6 IEP-02	DIRECTOR GENERAL DR. RICARDO RAMÍREZ ORTIZ	DIRECTOR DE PROYECCION ING. RUBEN RAMÍREZ FLORES	DIRECTOR DE INFRAESTRUCTURA ING. JUAN O GONZÁLEZ CASTILLO	DEL. DE PROYECTOS D.C.O. Y C. P. Y. S. C. A.
	DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCION					

## CUARTO DE CONTROL



## TALLER



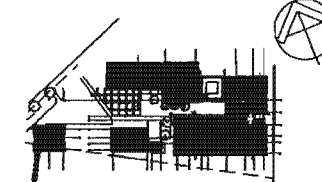
### SIMBOLOGIA

- PUNTA MACIZA INOXELADA DE COBRE DE 0.30 m DE LARGO, CATALOGO C-05-A, MARCA ANPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- UNION TIPO "T" DE CONDUCTORES DE COBRE DE 28 HILOS
- ⏏ ELECTRODO TIPO VARILLA COPPERWELD DE 19.5 mm DE DIAMETRO Y 3.05 m DE LONGITUD.
- CABLE DE COBRE DESNUDO DE 28 HILOS DE 13.7 mm DE DIAMETRO, CATALOGO C-10, MARCA ANPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- ▼ UNION DE CONDUCTORES

### NOTAS

- 1.-ESTE PLANO ES ÚNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN UBICARSE:
  - A) CERCANOS A LOS CONDUCTORES DE BAJADA DE TIERRA.
  - B) FUERA DE CIMENTACIONES.
  - C) SEPARADOS POR LO MENOS 0.60m DE LA CONSTRUCCION.
  - D) DE PREFERENCIA DONDE EL TIERRINO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE O ESTE EN EL MAXIMO CONTACTO CON LA HUMEDAD.
- 2.-EN LAS PRUEBAS PARA CONSIDERAR SATISFACTORIA LA INSTALACION SE DEBERA TENER:
  - A) CONTINUIDAD TOTAL EN SUS CIRCUITOS QUE PUEDAN COMPROBARSE, HACIENDOSE PASAR UNA CORRIENTE A TRAVES DE ELLOS.
  - B) RIGIDEZ MECANICA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
  - C) RESISTENCIA A TIERRA ADECUADA EN SUS ELECTRODOS, SE CONSIDERAN FACTORES SATISFACTORIOS MEDIDOS HASTA 10 OHMS PARA CADA ELECTRODO INDEPENDIENTE.
- 3.-EL CONDUCTOR SE DEBE FIJAR FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA METRO POR MEDIO DE ABRAZADERAS CAT. C-121-A, MARCA ANPASA.
- 4.-LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PARARRAYOS NO SE DEBEN USAR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y SISTEMAS, ESTA PROHIBICION NO ESTA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- 5.-LOS CONDUCTORES PARA LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA A LA VARILLA TIPO COPPERWELD DEBE SER DE TIPO SOLDADURA EXOTERMICA.
- 6.-LAS BAJADAS DE PUESTA A TIERRA DEBERAN PROTEGERSE CON UN TUBO CONDUIT DE PVC, VERDE OLIVO DE 19 mm DE DIAMETRO Y 3 m DE LONGITUD.

### CROQUIS DE LOCALIZACION

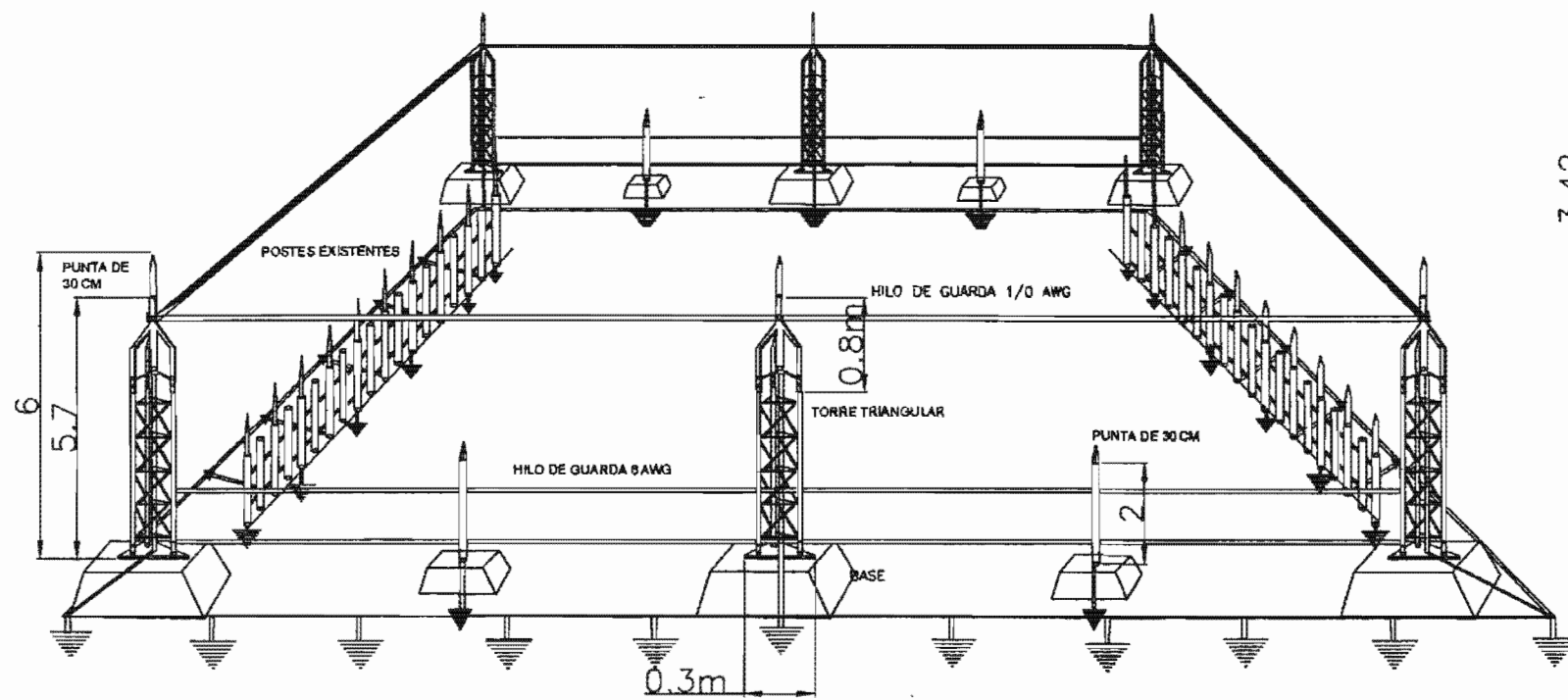


### FIRMA DE USUARIO

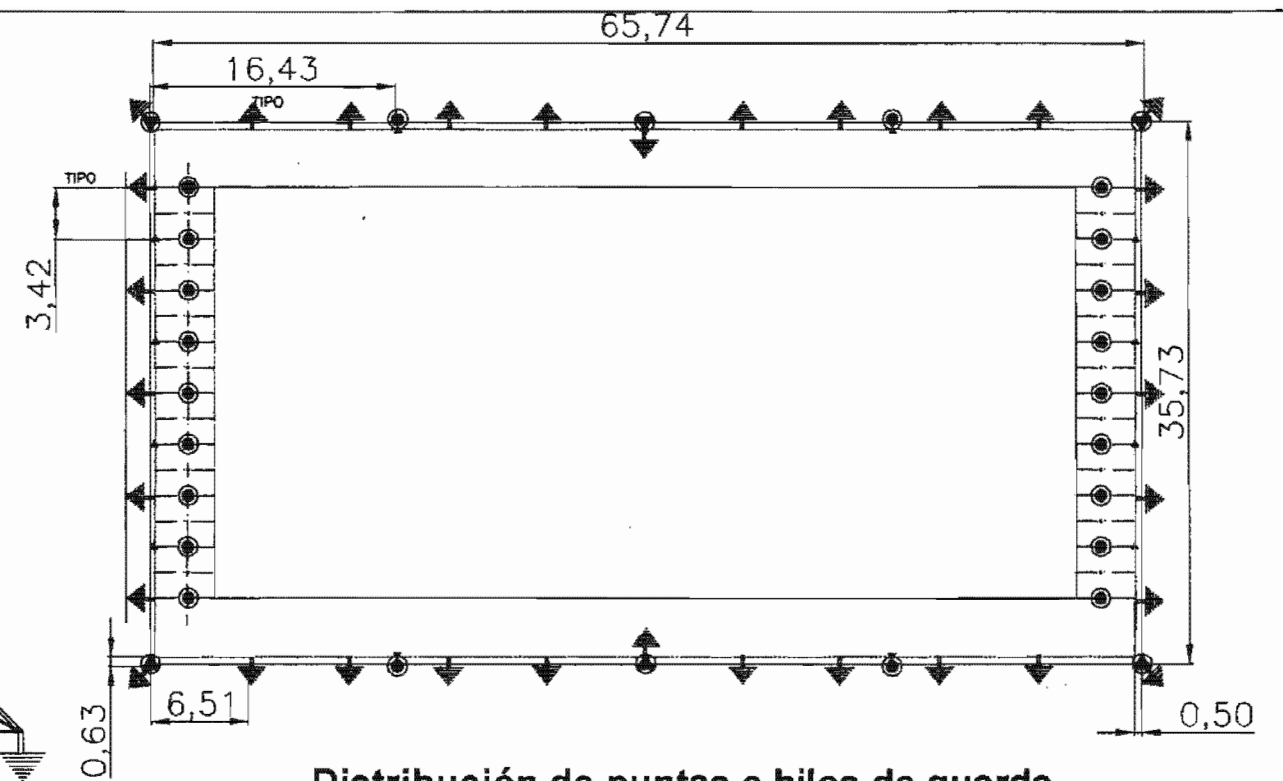
DR. AMÉRICO GONZÁLEZ ESPARZA  
RESPONSABLE CIENTÍFICO

INSTITUTO DE GEOFISICA PRODUCTO OBSERVATORIO DE CENTELLO INTERPLANETARIO UBICACION COENEQ, MICHOACAN	No. de plan: 3 No. total: 6	No. de hoja: 3 No. total: 6
	SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCION	
INSTALACION ELECTRICA PARARRAYOS CONDOMINIO CUARTO DE CONTROL Y TALLER		IEP-03

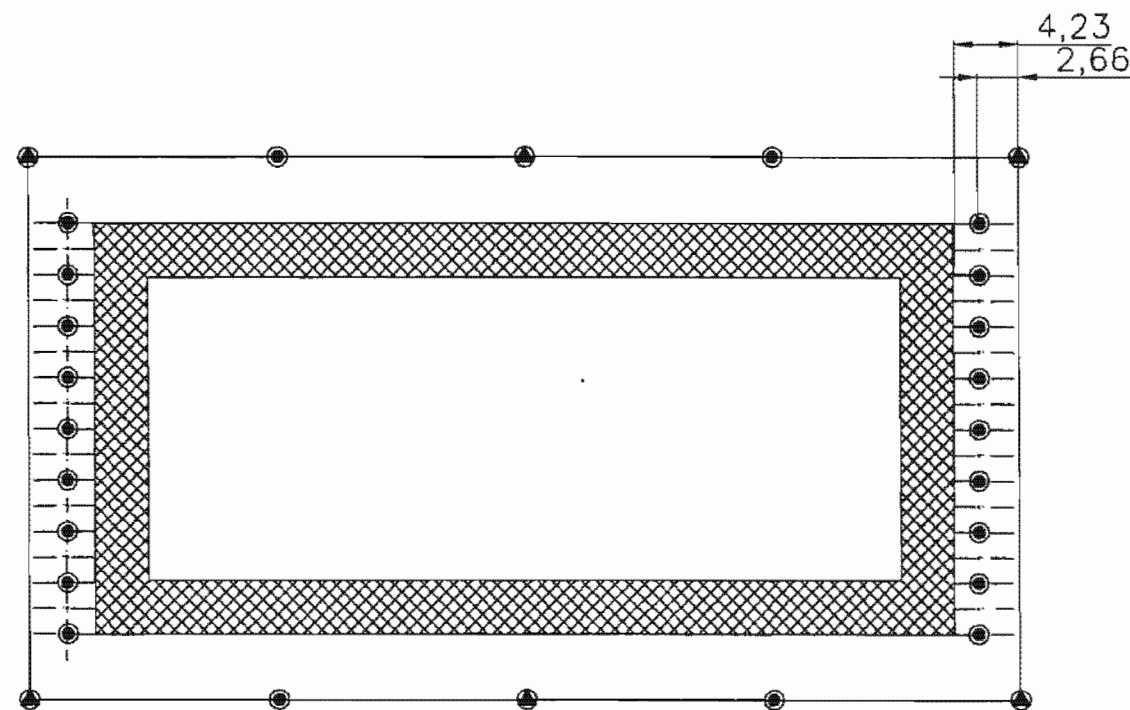
DR. RICARDO RAMÍREZ ORTIZ DIRECTOR GENERAL  
 DR. RUBÉN CAMACHO FLORES DIRECTOR DE PROYECTOS  
 DR. ENRIQUE GONZÁLEZ CASTILLO DIRECTOR DE INFRAESTRUCTURA  
 DR. DE PROYECTOS (E.C. Y C.)



Detalle, distribución de puntas e hilos de guarda S/E



Distribución de puntas e hilos de guarda



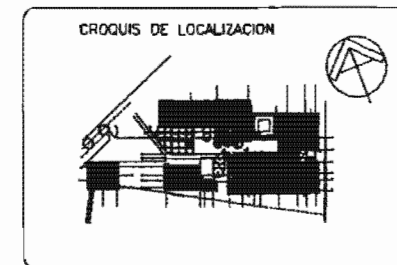
Zona de protección.

**SIMBOLOGIA**

- ⊙ PUNTA MACIZA DE COBRE NIQUELADA DE .3 m DE ALTURA. ANPASA CATALOGO C-88-A O EQUIVALENTE APROBADA.
- ⚡ ELECTRODO TIPO VARILLA COPPERWELD DE 19.5mm DE DIAMETRO Y 3.05m DE LONGITUD.
- ⊙ PUNTAS EN TORRES TRIANGULARES DE 6 m, CATALOGO AT29, MARCA AMESA O EQUIVALENTE APROBADA.
- ▨ ZONA DE PROTECCION DE LA ANTENA.
- ▼ UNION DE CONDUCTORES

**NOTAS**

- 1.-ESTE PLANO ES UNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN UBICARSE EN :
  - A) CERCANOS A LOS CONDUCTORES DE BAJADA DE TIERRA.
  - B) FUERA DE CIMENTACIONES.
  - C) DE PREFERENCIA DONDE EL TERRENO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE O ESTE EN EL MAXIMO CONTACTO CON LA HUMEDAD.
- 2.-EN LAS PRUEBAS PARA CONSIDERAR SATISFATORIA LA INSTALACION SE DEBERA TENER:
  - A) CONTINUIDAD TOTAL EN SUS CIRCUITOS QUE PUEDAN COMPROBARSE, HACIENDOSE PASAR UNA CORRIENTE A TRAVES DE ELLOS.
  - B) RIGIDEZ MECANICA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
- 3.-EL CONDUCTOR SE DEBE FIJAR FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA METRO POR MEDIO DE ABRAZADERAS CAT. C-121-A, MARCA ANPASA.
- 4.-LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PARARRAYOS NO SE DEBEN USAR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y SISTEMAS, ESTA PROHIBICION NO ESTA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- 5.-LOS CONDUCTORES PARA LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA, A LA VARILLA DEBE SER TIPO SOLDADURA EXOTERMICA.

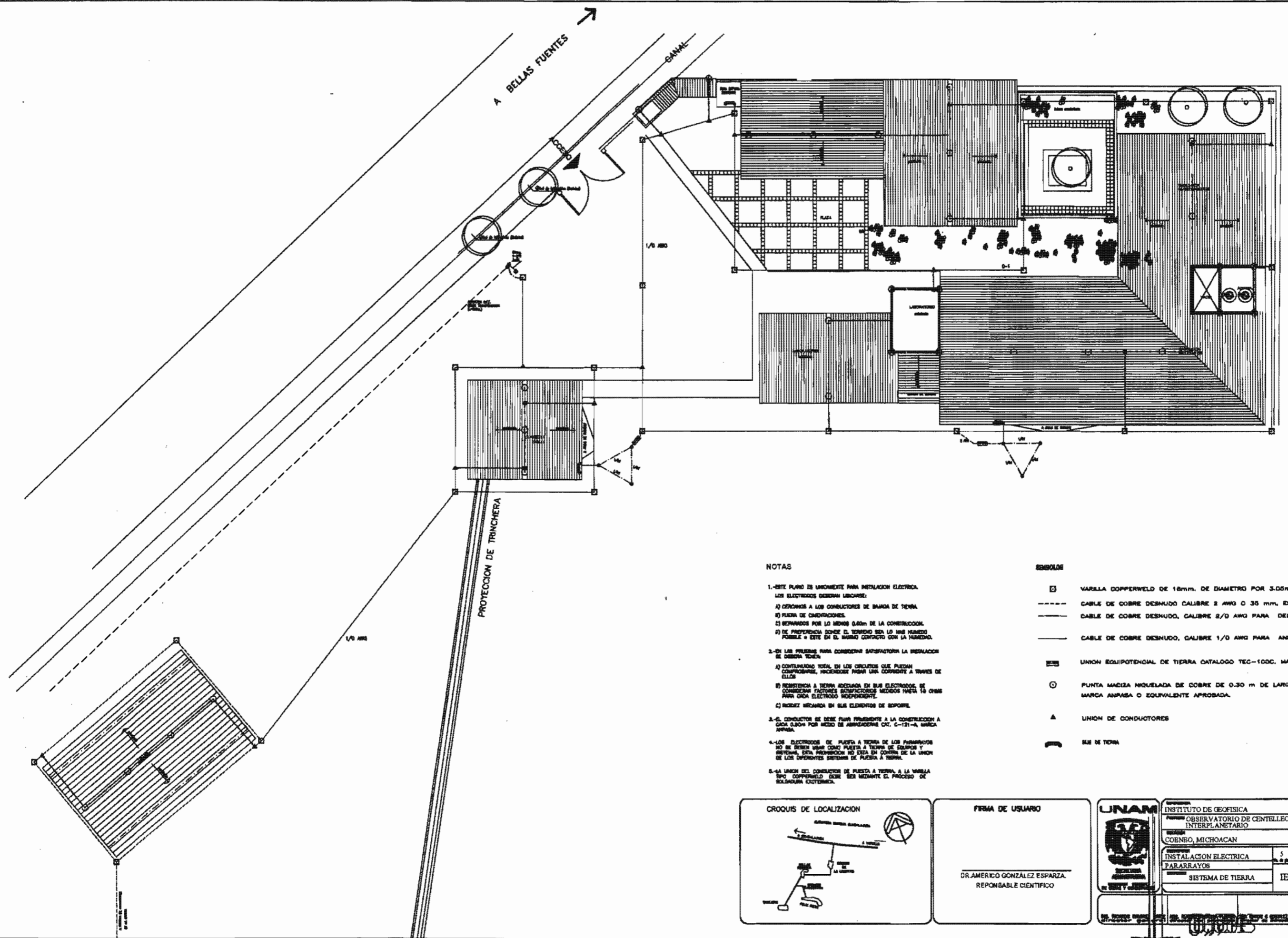


FIRMA DE USUARIO

DR. AMERICO GONZÁLEZ ESPARZA  
RESPONSABLE CIENTIFICO

	INSTITUTO DE GEOFISICA OBSERVATORIO DE CENTELLO INTERPLANETARIO COENEO, MICHOACAN	No. de Hoja: 4 No. de Hojas: 6	No. de Proyecto: IEP-04
	SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCION	PROYECTO: INSTALACION ELECTRICA PARARRAYOS CONCEPTO: ANTENA	No. de Proyecto: IEP-04
ING. RICARDO RAMÍREZ ORTIZ Director de Proyectos	ING. RUBÉN ORAMAZO ALFARO Director de Proyectos	ING. FRANCISCO GONZÁLEZ GERRERO Director de Infraestructura	DR. DE PROYECTOS D.G.O. Y C.



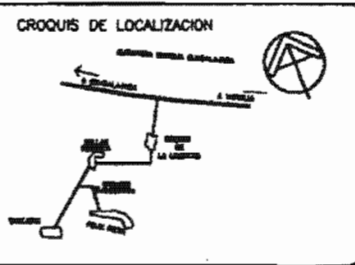


**NOTAS**

- 1.-ESTE PLANO ES ÚNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN LIBERARSE:
  - A) DEJARLOS A LOS CONDUCTORES DE BANCA DE TIERRA.
  - B) PLACA DE OBTURACIONES.
  - C) REPARADOS POR LO MENOS 0.50m DE LA CONSTRUCCION.
  - D) DE PREFERENCIA DONDE EL TERMINO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE + ESTE EN EL MURDO CONTIGUO CON LA HUMEDAD.
- 2.-EN LAS PRESIONES PARA CONSEGUIR SATISFACITORIA LA RESPIRACION DE CERAMICA YODA:
  - A) CONTINUADO TOTAL EN LOS CIRCUIOS QUE PUEDAN COMPROMETER, INICIANDOSE PARA UNA CORRIENTE A VARIAS DE ELLOS.
  - B) RESISTENCIA A TIERRA ADECUADA EN SUS ELECTRODOS, SE CONSIDERAN FACTORES SATISFACIOSOS MEDIDOS HASTA 10 CMMS PARA CADA ELECTRODO INDEPENDIENTE.
  - C) PODERIZ MEXICANA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
- 3.-EL CONDUCTOR DE DEBE FUER FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA 0.50m POR MEDIO DE ARRIBACIONES CAT. C-121-A MARCA ANPASA.
- 4.-LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PASADIZOS NO SE DEBE UNIR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y REPERMAS, ESTA PROHIBICION NO EXIJA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- 5.-LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA, A LA VARILLA TIPO COPPERWELD DEBE SER MEDIANTE EL PROCESO DE SOLDADURA COTERMOCA.

**SEBOLOS**

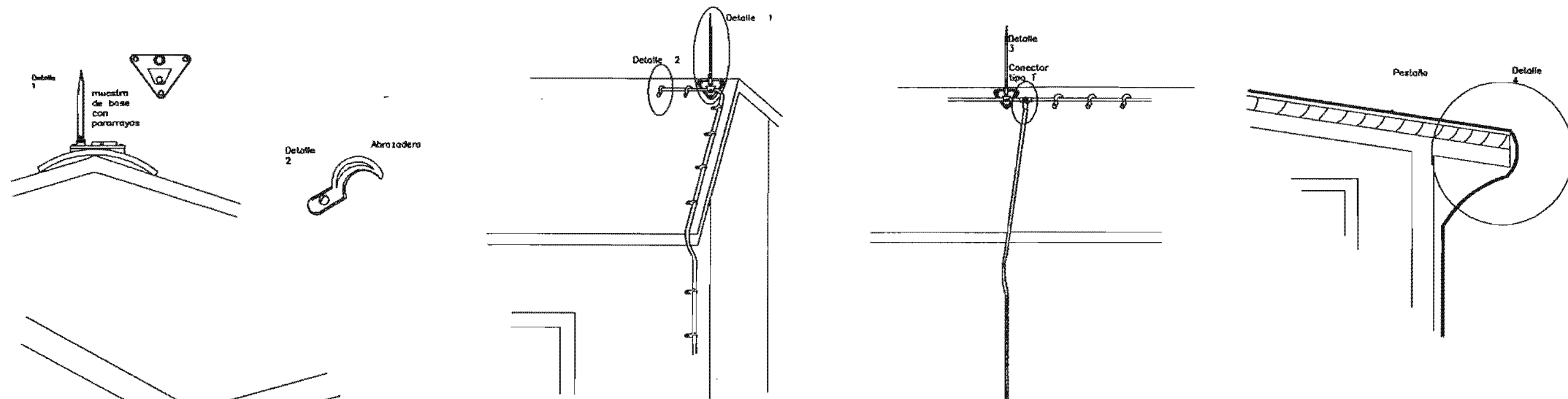
- VARILLA COPPERWELD DE 18mm. DE DIAMETRO POR 3.05m. DE LONGITUD.
- CABLE DE COBRE DESNUDO CALIBRE 2 AWG O 35 mm. ENTERRADO EN EL PISO
- CABLE DE COBRE DESNUDO, CALIBRE 2/0 AWG PARA DELTA.
- CABLE DE COBRE DESNUDO, CALIBRE 1/0 AWG PARA ANILLO
- UNION EQUIPOTENCIAL DE TIERRA CATALOGO TEC-100C. MARCA ERICO
- PUNTA MACIZA NIQUELADA DE COBRE DE 0.30 m DE LARGO, CATALOGO C-66-A. MARCA ANPASA O EQUIVALENTE APROBADA.
- UNION DE CONDUCTORES
- SIN METORA



**FIRMA DE USUARIO**

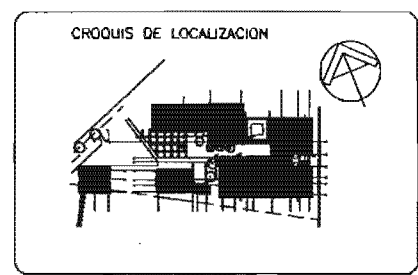
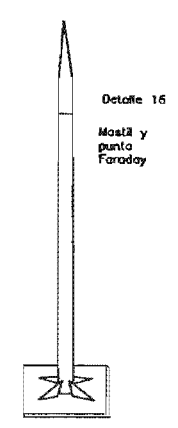
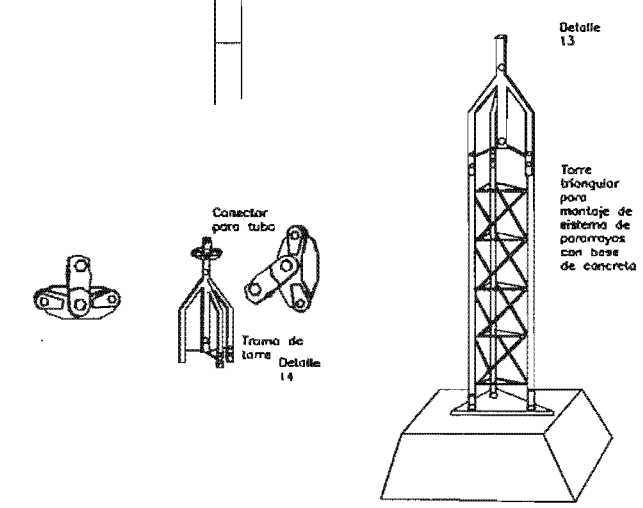
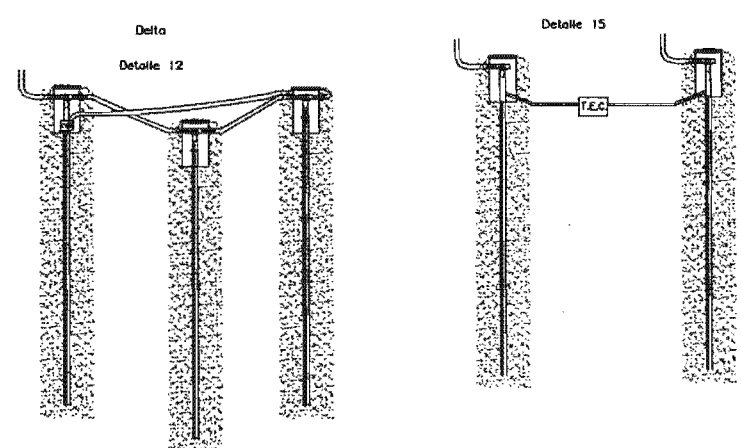
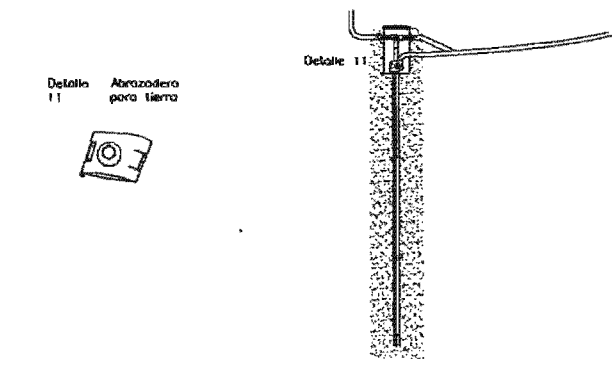
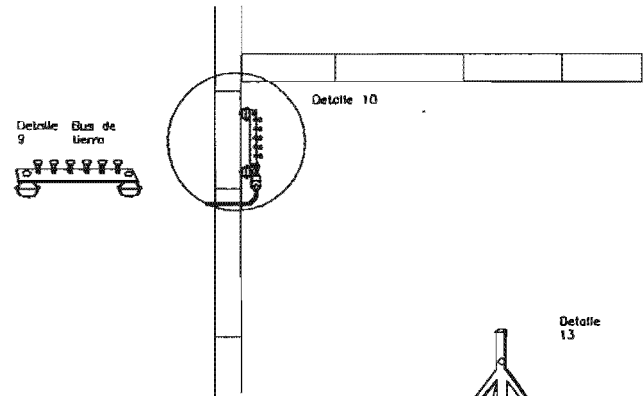
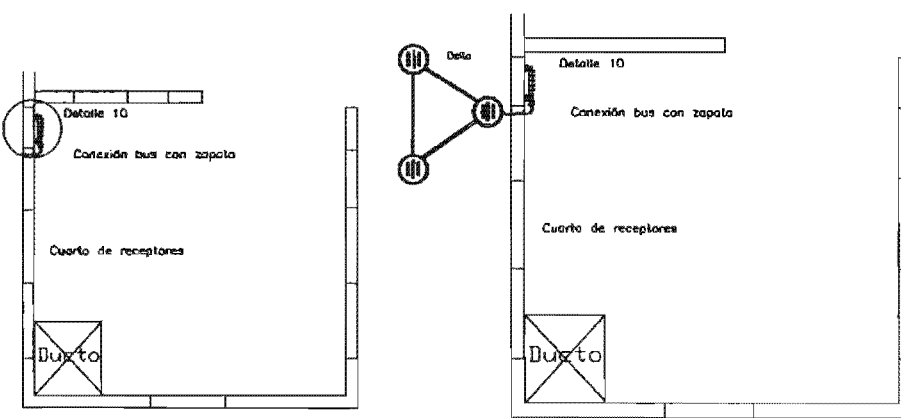
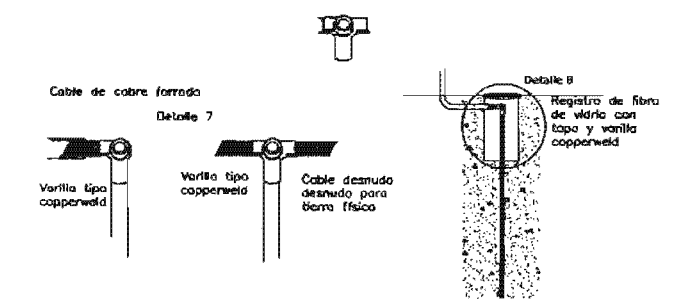
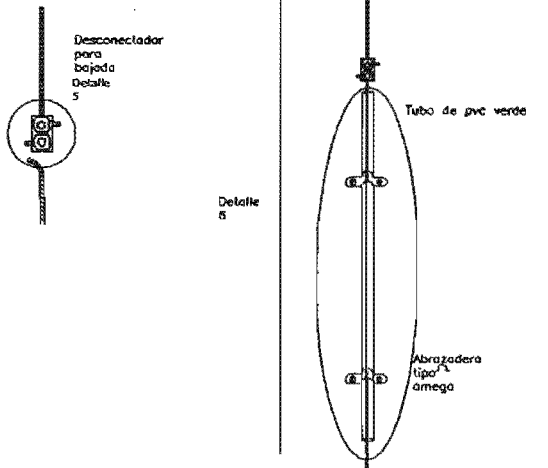
DR. AMERICO GONZALEZ ESPARZA  
RESPONSABLE CIENTIFICO

	INSTITUTO DE GEOFISICA OBSERVATORIO DE CENTELEO INTERPLANETARIO COENBO, MICHOACAN	
	INSTALACION ELECTRICA PARARRAYOS	5 6 No. de plan No. del
SISTEMA DE TIERRA		IEP-05



**NOTAS**

- ESTE PLANO ES ÚNICAMENTE PARA INSTALACION ELECTRICA. LOS ELECTRODOS DEBERAN UBICARSE:
  - CERCANOS A LOS CONDUCTORES DE BANDA DE TIERRA.
  - FUERA DE CIMENTACIONES.
  - SEPARADOS POR LO MENOS 0.20m DE LA CONSTRUCCION.
  - DE PREFERENCIA DONDE EL TERRENO SEA LO MAS HUMEDO POSIBLE O ESTE EN EL MAXIMO CONTACTO CON LA HUMEDAD.
- EN LAS PRUEBAS PARA CONSIDERAR SATISFACTORIA LA INSTALACION SE DEBERA TENER:
  - CONTINUIDAD TOTAL EN SUS CIRCUITOS QUE PUEDAN COMPROBARSE, HACIENDOSE PASAR UNA CORRIENTE A TRAVES DE ELLOS.
  - ROBUEZ MECANICA EN SUS ELEMENTOS DE SOPORTE.
  - RESISTENCIA A TIERRA ADECUADA EN SUS ELECTRODOS, SE CONSIDERAN FACTORES SATISFACTORIOS MEDIDOS HASTA 10 OHMS PARA CADA ELECTRODO INDEPENDIENTE.
- EL CONDUCTOR SE DEBE FIJAR FIRMEMENTE A LA CONSTRUCCION A CADA METRO POR MEDIO DE ABRAZADERAS CAT. C-121-A, MARCA AMFAS.
- LOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA DE LOS PARARRAYOS NO SE DEBEN USAR COMO PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y SISTEMAS, ESTA PROHIBICION NO ESTA EN CONTRA DE LA UNION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.
- LOS CONDUCTORES PARA LA UNION DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA A LA VARILLA TIPO COPPERWELD DEBE SER DE TIPO COMPRESION O PROCESOS DE SOLDADURA EXOTERMICA.
- LAS BARRAS DE PUESTA A TIERRA DEBERAN PROTEGERSE CON UN TUBO CONDUIT DE PVC VERDE OLIVO DE 38.1 mm DE DIAMETRO Y 3 m DE LONGITUD.



FIRMA DE USUARIO

DR. AMERICO GONZÁLEZ ESPARZA  
RESPONSABLE CIENTIFICO

	INSTITUTO DE GEOFISICA OBSERVATORIO DE CENTELLO INTERPLANETARIO COENEO, MICHOACAN		6 6
	SECRETARIA ADMINISTRATIVA DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCION		IEP-06
ING. RICARDO RAMÍREZ ORTIZ INGENIERO EN ELECTRICIDAD	ING. RUBÉN CHAMACHO FLORES INGENIERO EN PROYECTOS	ING. EDUARDO GONZÁLEZ CASILLAS INGENIERO EN ELECTRICIDAD	DIR. DE PROYECTOS D.O. y C. P.P. y S.T.A.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Cortez Mondragón  
Alberto

FECHA: 03/Jun/2005

FIRMA: [Firma]

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Esther Barrios  
Martínez

FECHA: 03/05/2005

FIRMA: [Firma]