



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS DE
BANDA ANCHA DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A

Leobardo Hernández Valdivia

T U T O R

Jorge Alberto Estrada Castillo



Mayo de 2013

ÍNDICE

OBJETIVO	4
INTRODUCCIÓN.....	4
Marco Teórico.....	6
Placas Tectónicas.....	6
¿Por qué se mueven las placas tectónicas?	6
Las placas tectónicas y los sismos en México	7
¿COMO SE MIDE UN SISMO?	7
¿Dónde ocurren los grandes temblores de México?	9
Tipos de sismos:.....	10
Catálogo de sismos en México durante el siglo XX.....	10
Algunas estadísticas.....	11
El Servicio Sismológico Nacional.....	11
El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES)	15
La Red Acelerográfica de la ciudad de México.....	15
El Sistema de Alerta Sísmica.	16
MISIÓN DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL	18
Red sismológica nacional	18
Red Sismológica Convencional	18
Red del Valle de México	19
Red de Observatorios Sísmicos de Banda Ancha.....	21
COMPONENTES DE UNA ESTACION SISMOLÓGICA	23
DIAGRAMA DE UNA ESTACIÓN SISMOLÓGICA	28
TIPOS DE RIESGOS EN UNA ESTACIÓN	29
Protección contra cortocircuitos.....	29
Protección contra sobrecargas	30
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	31
Regulador Ferro-resonante.....	34
Switch industrial.....	35
SUPRESORES DE PICOS DE VOLTAJE	35
PUESTA A TIERRA.....	37
Puesta a tierra de los sistemas eléctricos.	37

Puesta a tierra de los equipos eléctricos.....	38
Puesta a tierra de protección electrónica.....	38
Puesta a tierra de protección atmosférica.....	39
Puesta a tierra de protección electrostática.....	42
Puesta a Tierra Aislada.....	42
Sistema de Tierra de Referencia de Señal.....	43
Definición de Electrodo de puesta a tierra.....	45
Tipos de Electrodo de puesta a tierra.....	46
Selección del calibre del conductor.....	50
I_{cb} : Corriente de disparo del interruptor.....	50
R: Resistencia del conductor neutro medido en Ohm-km.....	50
Medición de la resistividad del terreno.....	51
Método de Wenner o de 4 puntos.....	53
Método de los 3 puntos o Método aproximado.....	54
Medición de la resistencia de un sistema de puesta a tierra.....	55
Medición de resistencia de un sistema de puesta a tierra.....	55
Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.....	56
Mejoramiento de la resistencia de tierra.....	57
FUSIBLES.....	60
TIPOS DE FUSIBLES.....	61
Para calcular que tipo de fusible se debe usar en cada caso se utilizan las siguientes tablas que describen su comportamiento.....	63
DETECTORES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	65
Conclusiones y recomendaciones.....	71
Apéndice 1.....	73
Switch industrial internet ADAM6520.....	73
Sensor de velocidad STRECKEISEN STS-2.....	74
Sensor de aceleración KINEMATRICS FBA ES-T.....	75
Digitalizador y registrador Quanterra Q330.....	76
Cálculos complementarios.....	77
Apéndice 2.....	78
Instrumentos alternos usados en las estaciones de banda ancha del SSN.....	78

Trillium 120	78
Trillium 240	79
STS-1	80
GURALP CMG-40T	81
Guralp CMG -3T	82
Reftek 151	83
Sensor de aceleración KINEMATRICS FBA-23	84
Guralp CMG -6TD	85
Índice de Figuras	86
FUENTES DE INFORMACION Y REFERENCIAS	87

OBJETIVO

Diseñar e implementar las protecciones eléctricas necesarias para mantener el óptimo funcionamiento de las estaciones sismológicas de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN), es indispensable ya que las estaciones deben operar bajo cualquier tipo de condiciones meteorológicas; independientemente de su localización geográfica. Dichas protecciones serán principalmente deberán de ser contra: cortos circuitos, descargas atmosféricas, variaciones electromagnéticas, variaciones de voltaje de la empresa suministradora de energía y variaciones de temperatura.

INTRODUCCIÓN

Se considera que es de suma importancia proteger los instrumentos electrónicos que conforman una estación sismológica, debido a los altos costos que representa su adquisición, además de que en caso de falla eléctrica estos no podrán funcionar correctamente y por lo tanto no cumplirían con el objetivo principal de registrar y transmitir en tiempo real los datos sísmicos producidos por sus sensores, para que en la estación central del SSN se procesen y determinen si es que existen los parámetros los eventos sísmicos captados. También se debe tener una buena protección eléctrica en general ya que la mayoría de estos instrumentos son susceptibles de no funcionar correctamente o dañarse

debido a perturbaciones eléctricas, producidas por descargas eléctricas y/o variaciones de las características físicas del suministro eléctrico y además, la mayoría de éstos instrumentos no son fabricados en nuestro país y en caso de no funcionar correctamente se necesitaría enviarlo para ser reparado a su lugar de origen, donde los costos de reparación se elevarían por los trámites aduanales a realizar, y el tiempo de reparación sería muy prolongado; además de que se estarían perdiendo los datos sísmicos del lugar donde funcionaba la estación; también debemos considerar los costos ya que el valor de una estación de banda ancha de las que se instalan en nuestro país, cuesta alrededor de 85 mil dólares y es por esto que se ha pensado en un sistema de protecciones especializado.

Todo tipo de instalación eléctrica desde las domésticas hasta las industriales o las que tienen un objetivo en específico como es el caso de estas estaciones sismológicas, deben estar acompañadas con una protección eléctrica adecuada; en la actualidad las estaciones sismológicas que se están instalando dentro de nuestro territorio nacional, utilizan tecnología de punta como es: respuesta en banda muy ancha de los sensores sísmicos, resolución de 24 bits en su digitalización, transmisión satelital de datos en tiempo real, etc.

Las aplicaciones tecnológicas son básicas para la elaboración de sismogramas y para la interpretación de dichos sismos; pensando en ello se propondrán algunas protecciones eléctricas cuya función es garantizar la continua operación de todo el sistema de instrumentación sísmica y de comunicaciones antes, durante y después de cualquier evento sísmico ante cualquier interrupción eléctrica o fenómeno meteorológico.

La finalidad de realizar este proyecto es garantizar la continua operación de todos y cada uno de los instrumentos eléctricos y electrónicos que conforman una estación sismológica de banda ancha, ya que sin importar su localización, el medio ambiente o alguna interrupción por falla de energía eléctrica, las estaciones deberán de funcionar incondicionalmente al menos durante 5 días continuos, ya que como bien se sabe en caso de un fenómeno meteorológico como un huracán, o de un terremoto lo primero que falla es el suministro eléctrico y posteriormente las comunicaciones.

Marco Teórico

Placas Tectónicas

La corteza terrestre, la parte más superficial y rígida de la Tierra, está compuesta por un rompecabezas, a cada pieza de este rompecabezas se le denomina Placa Tectónica como se muestra en la figura 1. Estas placas que cubren grandes áreas de la superficie terrestre se mueven en diferentes direcciones, produciéndose en ocasiones choques entre ellas. Algunas se deslizan rozando una contra otra, otras al chocar frontalmente, generan lo que se denomina una zona de *Subducción*, las zonas de subducción se identifican por ser las regiones más profundas del suelo oceánico, en estas regiones una placa “cabalga” sobre la otra; normalmente la placa más densa penetra bajo la placa menos densa.



Figura 1 Placas Tectónicas

¿Por qué se mueven las placas tectónicas?

El interior de la Tierra conserva una gran cantidad de calor desde su formación, hace unos 4500 millones de años; además en el Manto terrestre existen materiales radioactivos que al decaer generan más calor. Este calor no puede escapar totalmente por conducción ya que el manto es un mal conductor de calor, y parte de este calor escapa por Convección, esto es, el material caliente de las profundidades de la Tierra sube a la superficie, y el material frío de la superficie baja hacia el interior el cual da origen al movimiento de estas grandes masas de material dieron origen al estudio de la *Tectónica de Placas*.

Las placas tectónicas y los sismos en México

Los *Sismos* (temblores o terremotos) se producen por el rompimiento de la roca de que se compone la corteza terrestre. La corteza terrestre se comporta como un material *Frágil* (similar al vidrio) que se fractura por la acción de una fuerza externa que sobrepasa la resistencia del material. Cuando dos placas tectónicas o bloques de corteza terrestre están en contacto, se produce *Fricción* entre ellas, manteniéndolas en contacto hasta que la fuerza que se acumula por el movimiento entre las placas sea mayor que la fuerza de fricción que las mantiene en contacto. La *Energía Elástica* que se había acumulado en la zona de contacto se libera en forma de calor, deformación de la roca y en energía sísmica que se propaga por el interior de la tierra. Esta energía sísmica que se propaga como ondas (similares a las ondas del sonido) es lo que podemos sentir bajo los pies cuando ocurre un temblor.

El territorio Mexicano se encuentra constituido por cinco placas tectónicas. La mayor parte del país se encuentra sobre la placa Norteamericana, que contiene a todo Norteamérica, parte del océano Atlántico y parte de Asia. La península de Baja California se localiza sobre la placa del Pacífico. Sobre esta placa también se encuentra el estado de California de los Estados Unidos de Norteamérica y parte del océano Pacífico. El sur de Chiapas se localiza dentro de la placa del Caribe., esta pequeña placa contiene la mayor parte de las islas caribeñas y de los países de Centro América. Existen otras dos pequeñas placas oceánicas que conforman el rompecabezas tectónico de México, Cocos y Rivera. El roce de las placas a lo largo de sus fronteras es lo que genera la gran mayoría de los sismos en México y en el Mundo.

¿COMO SE MIDE UN SISMO?

Existen varios métodos de cuantificar un sismo, sin embargo los dos más aceptados son: la escala de magnitud de Richter y la otra es la escala de intensidad de Mercalli. En México se utiliza la escala de magnitud de Richter. A continuación tenemos una breve explicación de las dos escalas.

1. ESCALA MERCALLI es una escala de 12 grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas

estructuras. Debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli y la escala se describe a continuación en la figura 2.

Grado	Descripción
I. Muy débil	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables
II. Débil	Perceptible sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar.
III. Leve	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.
IV. Moderado	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande.
V. Poco fuerte	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo.
VI. Fuerte	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero.
VII. Muy fuerte	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento.
VIII. Destructivo	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar.
IX. Muy destructivo	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases.
X. Desastroso	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas
XI. Muy desastroso	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida.
XII. Catastrófico	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Figura 2 Escala Mercalli

2. ESCALA RICHTER Esta escala de magnitud local fue desarrollada por Charles Richter con la colaboración de Beno Gutenberg en 1935, ambos fueron investigadores del Instituto de Tecnología de California, cuyo propósito original es separar el gran número de terremotos pequeños de los menos frecuentes terremotos mayores observados en California en su tiempo. La ecuación de Richter que define su escala ésta dada por:

$$M = \log A + 3 \log(8\Delta t) - 2.92$$

dónde:

A = amplitud de las ondas en milímetros, tomada directamente en el sismograma.

Tipos de sismos:

- **Locales:** Afectan a una región muy pequeña y se deben a hundimientos de cavernas y cavidades subterráneas; trastornos causados por disoluciones de estratos de yeso, sal u otras sustancias o a deslizamientos de terrenos que reposan sobre capas arcillosas. Otro sismo local es el provocado por el hombre originado por explosiones o bien por colapso de tierra en grandes explotaciones mineras. También se ha supuesto que experimentos nucleares, o la fuerza de millones de toneladas de agua acumulada en represas o lagos artificiales podría producir tal fenómeno, una más sería a causa de las mareas o grandes cantidades de agua. En general son sismos muy pequeños.
- **Regionales:** Son aquellos sismos cuyos epicentros son localizados fuera de la zona local a una distancia menor a los 100 kilómetros.
- **Telesismos:** Es todo evento sísmico distante más de 1110 kilómetros del punto de observación (sismo lejano).

Catálogo de sismos en México durante el siglo XX.

Para comprender la amenaza que representan los sismos a las poblaciones en México se compiló un catálogo de los sismos moderados y grandes que ocurrieron en todo el territorio Mexicano durante el siglo XX se muestra en la figura 4. Los sismos aquí reportados sobrepasan la magnitud de 6.5. Es posible que durante este siglo hayan ocurrido sismos con magnitudes menores que hayan producido daños. La mayoría de los sismos aquí mostrados fueron registrados por instrumentos mecánicos y analizados de forma rudimentaria, por lo que muchas de las localizaciones que aquí se presentan son aproximadas. Los mejores análisis son posteriores a 1964 cuando la red mundial de estaciones sísmicas y la red del S.S.N. permitían, tanto por su cobertura como por la calidad de los instrumentos, realizar análisis más precisos. Igualmente, las mejores magnitudes son aquellas determinadas a partir de 1976. A partir de este año, la red sísmica mundial de estaciones digitales permitió la determinación rutinaria de magnitudes de momento sísmico, que es la determinación más

adecuada del tamaño de un sismo y la cantidad de energía liberada durante el mismo. El catálogo que aquí se presenta (figura 4) sólo cubre 100 años de sismicidad de México, por lo tanto no representa en su totalidad el peligro sísmico del país.

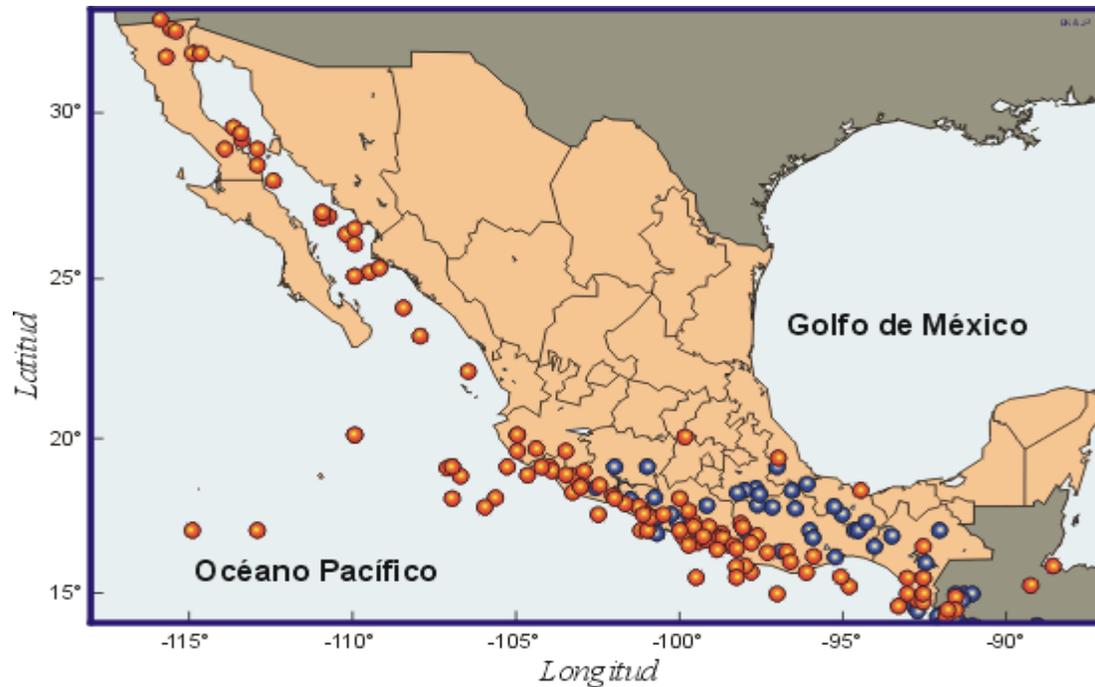


Figura 4 *Sismos moderados y grandes en México, el catalogo del siglo XX*

Algunas estadísticas.

En promedio, en México ocurren 5 sismos de magnitud mayor o igual a 6.5 cada 4 años, el cual coincide con los 160 sismos que se reportan en el catálogo para los 100 años de historia sísmica del país. Cada año se registran más de 100 sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5, mientras que las estadísticas indican la ocurrencia de un sismo con magnitud mayor o igual a 7.5 cada 10 años.

El Servicio Sismológico Nacional

El primero de abril de 1904, se reunieron en Francia dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano decretó la creación del Servicio Sismológico Nacional (SSN) el 5 de

Septiembre de 1910, desde ese momento el SSN quedó bajo el cargo del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.

Entre 1910 y 1923 se instalaron 9 estaciones sismológicas mecánicas autónomas. La central fue instalada en Tacubaya, D.F. y las foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mérida, Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas (figura 5). Se eligieron sismógrafos "Wiechert" de fabricación alemana.



Figura 5 Primeras estaciones autónomas del SSN.

Siete de estos todavía operan en la actualidad y constituyen probablemente, el sistema más antiguo de América que ha operado por mayor tiempo en forma continua lo podemos ver en la figura 6.



Estación Sismológica de Monterrey N.L. 1913.



Estación Sismológica de Mérida, Yuc.



Estación Sismológica de Oaxaca, Oax.



Figura 6 Primeras estaciones y Sismógrafo Wiechert de 17 Toneladas en la estación central

El SSN pasó a formar parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM. En sus inicios, el SSN contó con los instrumentos más modernos de la época; sin embargo, es hasta los años sesenta que se comienza la instalación de sismógrafos electromagnéticos (figura 7). Llegando a tener aproximadamente 20 instrumentos autónomos, con grabación de las señales sísmicas en papel ahumado y fotográfico.

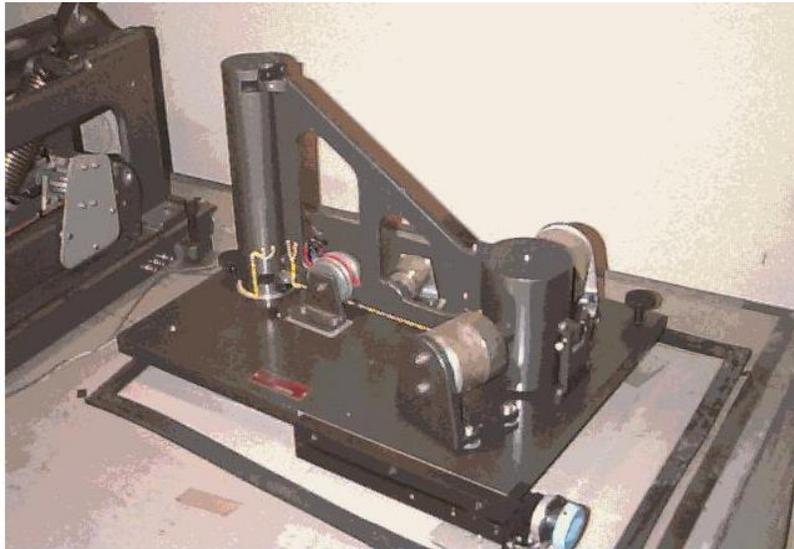


Figura 7 Sismógrafos electromagnéticos

La instalación de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMAC) se inició en la UNAM a mediados de los años setenta, con el fin de contar con estaciones telemétricas digitales en todo el territorio nacional. En esta red, la transmisión de las señales se realizaba por medio de enlaces de microondas proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (ahora TELECOMM).

En agosto de 1986, RESMAC pasó a formar parte del SSN, y fue así que se integraron las dos redes de cobertura nacional. Esto mejoró el monitoreo sísmico en el país y por primera vez permitió al SSN contar con registros en tiempo real desde diferentes sitios de la República Mexicana. Sin embargo, la cobertura nacional aún era insuficiente.

En 1988 se amplió la Red Telemétrica del SSN, recibiendo apoyo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que facilitó canales de su red de microondas para la transmisión de los datos sísmicos.

A inicios de los años 90's el Departamento de Instrumentación del Instituto de Geofísica, comenzó a desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos, y a instrumentar estaciones telemétricas digitales propias.

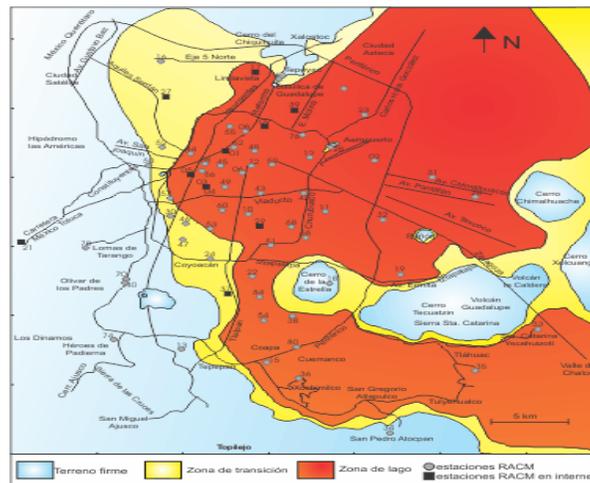
A partir de 1992 con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y de la UNAM, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional con la instalación de equipos de nueva tecnología, así nació la red de Observatorios Sismológicos de Banda Ancha. Hoy el SSN cuenta con 57 observatorios sísmicos en todo el país.

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES)

Después de los sismos de 1985 que afectaron varias ciudades, entre ellas la capital del país, fueron creados más organismos que se dedican al monitoreo sísmico, entre ellos se encuentra el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C. (CIRES) que es una asociación civil no lucrativa fundada en junio de 1986, originalmente bajo el auspicio de la Fundación Javier Barros Sierra, A. C., hasta el 2002, para promover la investigación y desarrollo de tecnología aplicada a la instrumentación sísmica, como medio útil para mitigar posibles desastres sísmicos, como los que sufrió la Ciudad de México en 1985.

La Red Acelerográfica de la ciudad de México.

Las autoridades del Gobierno del Distrito Federal (GDF), han patrocinado desde su origen, en 1987, el diseño y desarrollo de la actual Red Acelerográfica de la Ciudad de México, (RACM). Este recurso tecnológico a cargo del CIRES, ha permitido obtener información para comprender y adecuar eventualmente los factores de diseño sísmico del Reglamento de Construcción del DF. Actualmente la red cuenta con 80 acelerógrafos y su distribución es la siguiente.



Red Acelerográfica de la Ciudad de México

El Sistema de Alerta Sísmica.

Para advertir el efecto que causan los sismos grandes que ocurren eventualmente en la costa de Guerrero, con el auspicio de la Secretaría de Obras del GDF, en diciembre de 1989, el CIRES desarrolló el Sistema de Alerta Sísmica, SAS, de la Ciudad de México, en operación desde 1991 y como servicio público desde 1993.

Además, en Oaxaca, después de los sismos de 1999, que afectaron a esa entidad, el CIRES desarrolló en el 2000, el Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, SASO en operación desde el 2003, con el patrocinio del Gobierno de ese estado.



Red de Oaxaca

Gracias a la iniciativa de las autoridades de Oaxaca, del Jefe de Gobierno del D.F. y la participación de la Secretaría de Gobernación, se han integrado los sistemas SAS y SASO para constituir en su primera etapa, el llamado Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX®).

Adicionalmente se inició el proyecto de ampliación de la cobertura del peligro sísmico abarcando las costas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, y el

estado de Puebla el mapa se puede observar en la siguiente figura.



Cobertura del Sistema de Alerta Sísmica mexicano

Para hacer más eficaz los avisos de Alerta Sísmica en la Ciudad de México ante la eventual ocurrencia de sismos que pudieran generar daño en la figura siguiente se muestran los tiempos de oportunidad dada la ocurrencia de un sismo en las costas de Guerrero-Oaxaca.



Tiempos de oportunidad

MISIÓN DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL

El objetivo principal del Servicio Sismológico Nacional (SSN) es el proporcionar información oportuna sobre la ocurrencia de sismos en el territorio nacional y determinar sus principales parámetros como son la magnitud y el epicentro.

Además de aportar información al público en general, el SSN comparte información de sus estaciones a dependencias de investigación de la UNAM como son: el departamento de Sismología, el Instituto de Ingeniería, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), y algunas instituciones internacionales como son: el Servicio Geológico de Estados Unidos (U.S.G.S.) y la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (O.T.P.C.E.N.) de la Organización de las Naciones Unidas (O.N.U.).

Debido a que en la actualidad tenemos acceso a instrumentos de mejor capacidad y calidad, los cuales nos permiten analizar la actividad sísmica, es viable cumplir con el objetivo principal que es dar la información fiable y oportuna de los sismos que ocurren en nuestro país, a las autoridades correspondientes como son Protección Civil, Secretaría de Gobernación o cualquier medio de información.

Red sismológica nacional

Actualmente el Servicio Sismológico Nacional cuenta aproximadamente con 94 estaciones sísmicas para el monitoreo y registro de temblores, organizado en tres diferentes redes:

- Red Sismológica Convencional 3 estaciones
- Red del Valle de México 34 estaciones
- Red de Banda Ancha 57 estaciones

Red Sismológica Convencional

Esta red estaba formada por 9 estaciones sísmicas de periodo corto distribuidas en el territorio nacional, de los cuales hoy en día se han dado de baja algunos equipos y quedan solo 3 en funcionamiento, mismos que transmiten la información en tiempo real directamente a la Estación Central localizada en el Instituto de Geofísica de la UNAM. La mayoría de los equipos utilizados son sensores verticales de periodo corto (1 segundo).

Red del Valle de México

En la década de los 90's, el Instituto de Geofísica de la UNAM se dio a la tarea de instalar una red de estaciones sismológicas utilizando nuevos instrumentos, en sitios específicos dentro y alrededor del D.F, con el objetivo de mejorar la calidad de los datos y de la localización de los temblores originados en el Valle de México. La Red Sísmica del Valle de México (RSVM) cuenta hasta el momento con 13 estaciones digitales y una analógica (PPM). La mayoría de ellas se localiza en el Estado de México como se observa en la figura 8.

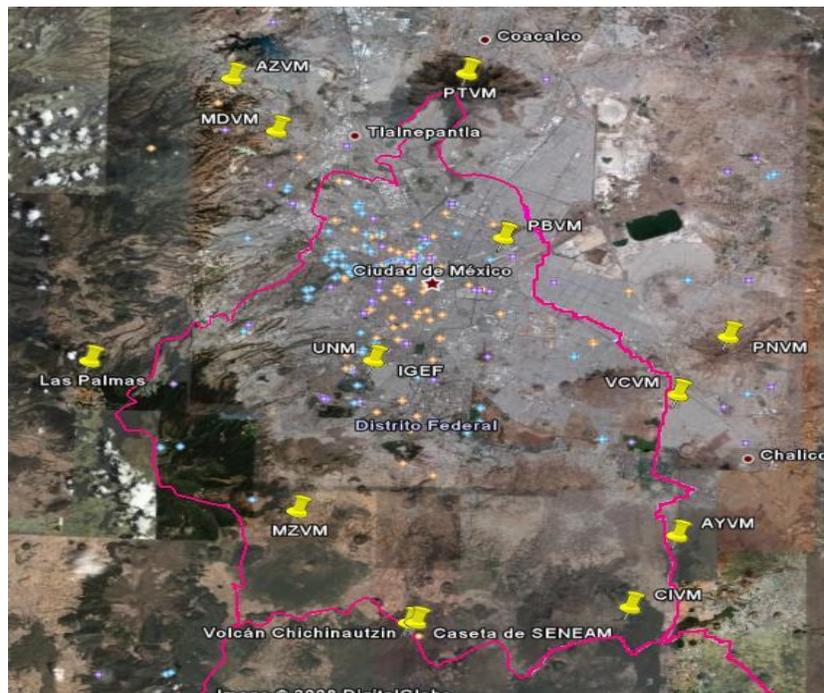


Figura 8 Red del Valle de México

Las estaciones sismológicas consistían de un sensor de periodo corto de una o tres componentes Mark L-4 y de un cilindro de aluminio que contenía a dicho sensor y a toda la electrónica, la cual: filtraba, pre-amplificaba, digitalizaba con resolución de 13 bits, modulaba y transmitía los datos sísmicos a la estación central del SSN, dicha instrumentación fue diseñada por personal del SSN a principios de los 90's, este tipo de estación sísmica fue conocida con el nombre de GEOS y transmitía dichos datos sísmicos a través de línea telefónica analógica o microondas en banda UHF (figura 9).



Figura 9 Sismógrafo GEOS de periodo corto

Debido a la falta de recursos se dejaron de producir y desarrollar las estaciones GEOS. Años después y con recursos de la Coordinación Federal de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, se incrementó ésta red con 8 estaciones sísmicas de banda ancha utilizando instrumentos de la marca GURALP modelo CMG-6TD (fig.10).



Figura 10 Sismómetro Guralp CMG-6TD.

En la actualidad la red del Valle de México ha incrementado el número de estaciones sísmicas al instalar una nueva estación sismológica en cada delegación del Distrito Federal (fig. 11), es decir se cuenta con 16 nuevas estaciones de banda ancha, donde se utilizan digitalizadores 130SMA de seis canales y sismómetros de banda ancha modelo 151-60 ambos de la marca REFTEK (fig. 12), toda esta información sísmica es transmitida en tiempo real hacia la estación central del SSN, mediante radios de amplio espectro y enlaces de internet.

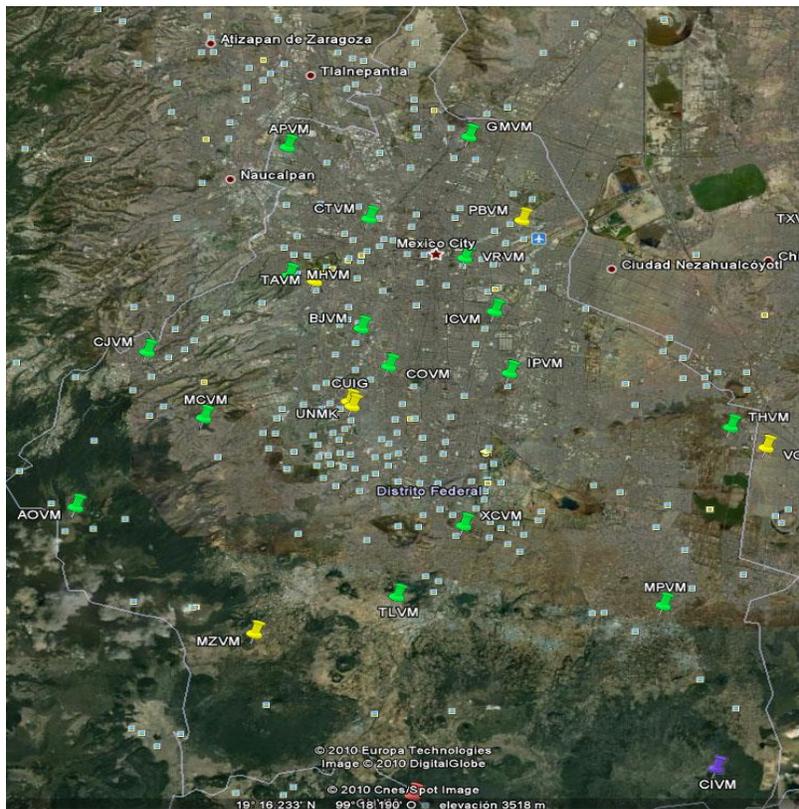


Figura 11 Red de las delegaciones del Distrito Federal



Figura 12 Estación de la red del Valle de México y sismógrafo Reftek.

Red de Observatorios Sísmicos de Banda Ancha.

La Red Sismológica de Banda Ancha es la columna vertebral del SSN, la cual se utiliza para monitorear la sismicidad en las regiones de mayor potencial sísmico dentro de la República Mexicana. Las estaciones se localizan en su mayoría, a lo largo de las costas del Océano Pacífico y del Istmo de Tehuantepec, así como en el eje neovolcánico. Dicha red consiste actualmente de 57 estaciones sismológicas de banda muy ancha, en la actualidad dicha red se encuentra en crecimiento continuo. La distribución de dichas estaciones se puede observar en la (figura 13).

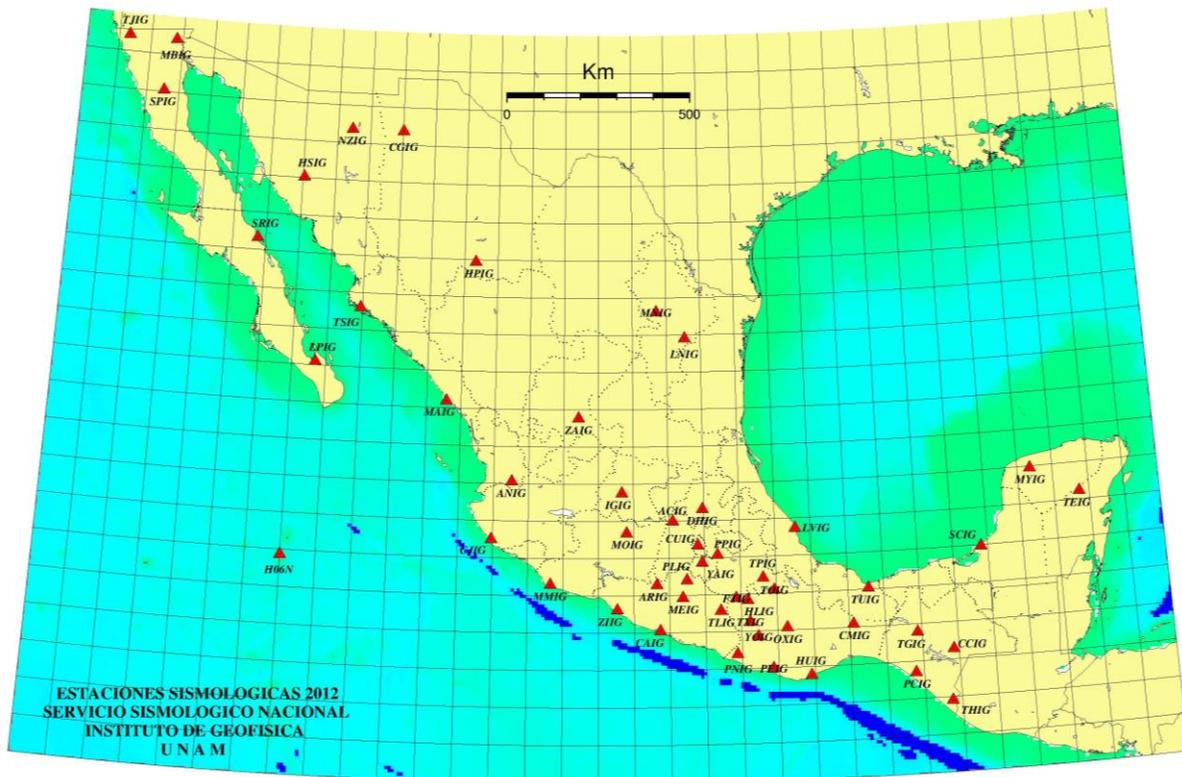


Figura 13 Distribución de las estaciones de la Red Sismológica de Banda Ancha

COMPONENTES DE UNA ESTACION SISMOLÓGICA

- Sensor de velocidad STRECKEISEN STS-2 ó Trillium 240 ó Trillium 120 ó Guralp CMG40-T.
- Sensor de aceleración KINEMATRICS FBA-23 o FBA ES-T.
- Digitalizador y registrador Quanterra Q330, Q680 o Taurus o Reftek.
- Switch industrial internet ADAM6520.
- Modem y antena satelital
- Rectificador y cargador de baterías MEI modelo KCR12-12.
- UPS de rack o torre de d1 kVA.
- Regulador ferro-resonante (CVH) tipo industrial de Sola Basic.
- Equipo de protección y detección de descargas atmosféricas.
- Sistema de tierra física.
- Control de carga.
- Cables para interconexión.

Las estaciones constan de los siguientes instrumentos:

Un sensor sísmico de velocidad: STRECKEISEN STS-2 (figura 14) o un Guralp CMG40-T o un Trillium 240 o Trillium 120. Dichos sensores son triaxiales y permiten registrar ondas sísmicas en un amplio rango de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 120 segundos a 30 Hertz, permiten registrar desde microsismos provocados por el hombre tales como son explosiones, excavaciones, tránsito de automóviles o maquinaria pesada, etc. y también la detección de sismos lejanos, sin problemas de saturación en la señal recibida para eventos sísmicos menores a 7 grados en la escala de Richter.

Un sensor sísmico de aceleración: FBA-23 (figura 14) o un Episensor FBA ES-T, estos sensores también son triaxiales y permiten registrar las aceleraciones del suelo dentro de un amplio espectro de frecuencias sin saturación de la señal para sismos grandes locales y regionales de magnitudes mayores a 7 grados ya que estos instrumentos operan en rangos de hasta 2 g's de aceleración. Estas características de los instrumentos permiten detectar y registrar con gran calidad y precisión toda la información sísmica de cualquier evento que pueda producirse dentro del territorio nacional, así como de los telesismos generados en

cualquier parte de nuestro planeta.

Debido a las características técnicas tan especializadas de los instrumentos sísmicos, así como de las protecciones utilizadas en sus instalaciones y operación, las estaciones sísmicas de banda ancha generan una enorme cantidad de datos sísmicos que además de servir para el cálculo de magnitud y zona epicentral de un sismo, también es utilizada para cálculos de tensor de momentos, atenuación, mecanismos focales y tomografías de sitio, entre otros fines científicos.



Figura 14 Sensores sísmicos STS-2 y FBA-23 de la estación de Tuxtla Gutiérrez Chis.

Digitalizador y registrador Quanterra Q330S.

Las señales analógicas de los sensores sísmicos (velocidad y aceleración) son digitalizadas en forma continua a razón de 100 muestras por segundo (mps), utilizando un convertidor análogo digital de 24 bits de resolución, dichos datos sísmicos digitalizados son almacenados localmente en memoria flash y transmitidos prácticamente en tiempo real, a las instalaciones centrales del SSN. Dicho digitalizador lo podemos observar en la figura 15.



Figura 15 Registrador-digitalizador Quanterra Q330S

Todas las estaciones cuentan además con un reloj de recepción GPS que permite obtener una referencia de tiempo de alta precisión, el cual es almacenado junto con la información sísmica. Los equipos se encuentran alojados en casetas especialmente construidas para minimizar el efecto de sitio (figura 16).



Maruata Mich.



Tlaxiaco Oax.



Linares N. León.



Tuxtla Gutiérrez Chis.



Zihuatanejo Gro.



Tapachula, Chis.

Figura 16 Caseta de una estación

Las construcciones de las casetas sísmicas de banda ancha, cuentan con doble pared externa y aislamiento de aire, además del techo de loza de concreto con bovedilla para minimizar los cambios de temperatura en el interior de la misma. Además los sensores se cubren con una caja de aluminio recubierta de material aislante de temperatura Foamular 250 que es un poliestireno de alta densidad para evitar inducciones electromagnéticas y térmicas hacia los sensores sísmicos (figura 17).



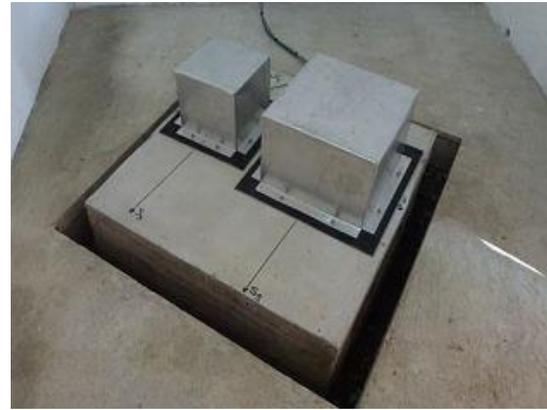


Figura 17 Cuarto de Sensores con sus protecciones electromagnéticas y térmicas.

Para registrar con una buena relación de señal a ruido y minimizar los efectos de sitio, se construyó un pilar sobre la cama de roca o zona dura, independiente de la estructura de la caseta, estas casetas constan de dos cuartos, en uno de ellos se construye el pilar de concreto y se instala una base de arborón, cuya función es la de proteger de posibles corrientes eléctricas parásitas producidas por los cambios térmicos sobre el pilar de concreto, sobre esta placa se montan los sensores sísmicos y se protegen finalmente con sus cajas de aluminio; en el otro cuarto se instalan todos los instrumentos eléctricos/electrónicos que conforman la estación sísmica de banda ancha.

TIPOS DE RIESGOS EN UNA ESTACIÓN

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los instrumentos electrónicos a ellos conectados, como de las personas que van de trabajar con ella.

Existen diferentes tipos de protecciones que se pueden hacer en una instalación eléctrica para que esta sea confiable y segura, pero hay al menos dos que deben usarse siempre, estas son:

Protección contra cortocircuitos.

Se denomina cortocircuito a la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico, con una diferencia de potencial sin impedancia eléctrica entre ellos. Si su impedancia es nula instantáneamente el valor de la corriente eléctrica es infinita. Esto se explica con la ley de Ohm descrita a continuación.

$$I = \frac{V}{Z} [A] \quad (\text{si } Z \text{ es cero } I = \infty)$$

Según los reglamentos de electricidad, "en el origen de todo circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en la instalación". No obstante se admite una protección general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados.

Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son:

- Fusibles calibrados (también llamados cortacircuitos), o
- Interruptores automáticos termomagnéticos

Los fusibles de la figura 18 no son más que un hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar el consumo de corriente debido a un cortocircuito sea la parte que más se caliente, y por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no debería sufrir daño alguno.



Figura 18 Fusibles e interruptores termomagnéticos.

Actualmente la parte o elemento fusible suele ser un fino hilo de cobre o aleación de plata, o bien una lámina del mismo metal; para fusibles de gran intensidad, colocados dentro de unos cartuchos cerámicos llenos de arena de cuarzo, con lo cual se evita la dispersión del material fundido; por tal motivo también se denominan cartuchos fusibles. Los cartuchos fusibles son protecciones desechables, cuando uno se daña simplemente se sustituye por otro en buen estado.

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos que constan de un disparador o interruptor magnético, formado por una bobina que actúa cuando rebasa la intensidad de corriente nominal (I_n).

Además poseen un interruptor térmico, formado por una lámina bimetálica, que se dobla al ser calentada por un exceso de intensidad de corriente, Esta es la protección contra sobrecargas y su velocidad de desconexión es inversamente proporcional a la sobrecarga. Cuando la desconexión es por efecto de una sobrecarga, debe de esperarse a que enfríe la lámina y cerrar su contacto, para que la corriente pase de nuevo a los circuitos protegidos.

Protección contra sobrecargas

Entendemos por sobrecarga al exceso de intensidad de corriente en un circuito, debido a un defecto de aislamientos de los conductores o bien, a una avería o demanda excesiva de carga de un instrumento conectada a la fuente de alimentación.

Las sobrecargas deben evitarse, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos de los conductores de una red conectado a ella. Una sobrecarga no protegida

genera siempre un cortocircuito.

Algunos de los dispositivos más empleados para la protección contra sobrecargas son:

- Fusibles calibrados
- Interruptores automáticos termomagnéticos
- Relés térmicos

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Una descarga atmosférica es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o entre nubes, ésta se propaga en un radio de varios kilómetros y su dispersión en la tierra eleva su potencial eléctrico, induciendo fuertes sobretensiones en los cables subterráneos y aumentando la tensión en las tomas de tierra.

En una instalación eléctrica todos los conductores que acceden desde el exterior son susceptibles de facilitar el camino a las sobretensiones transitorias, provocando así perturbaciones en la alimentación de todos los sistemas conectados.

Las sobretensiones producidas por fenómenos atmosféricos llegan hasta las instalaciones de tres formas:

- Sobretensión conducida: La descarga puede caer directamente en las líneas aéreas propagándose la sobretensión a lo largo de varios kilómetros, llegando al usuario y derivándose a tierra a través de sus equipos, produciéndoles averías o su total destrucción (fig. 19).

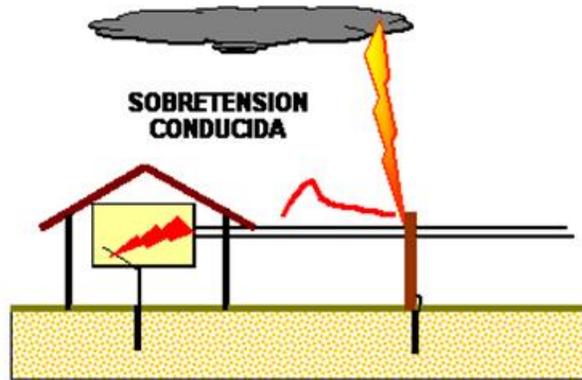


Figura 19 Sobretensión conducida

- Sobretensión inducida: La radiación emitida por el impacto de la descarga sobre un objeto (poste, árbol, pararrayos, etc.) próximo a líneas eléctricas o telefónicas, induce corrientes transitorias en éstas, transmitiéndose al interior de nuestras instalaciones provocando averías o destrucción de los equipos conectados (fig. 20).

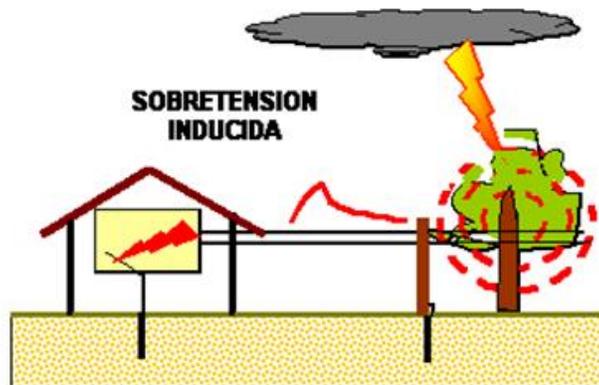


Figura 20 Sobretensión inducida.

- Aumento del potencial de tierra: Cuando una descarga cae directamente al suelo o a través de una estructura conectada a tierra (puede ser un poste eléctrico, un pararrayos, etc.) la corriente de descarga del rayo puede elevar el potencial de tierra varios miles de voltios como consecuencia de la corriente que circula por el terreno (fig. 21).

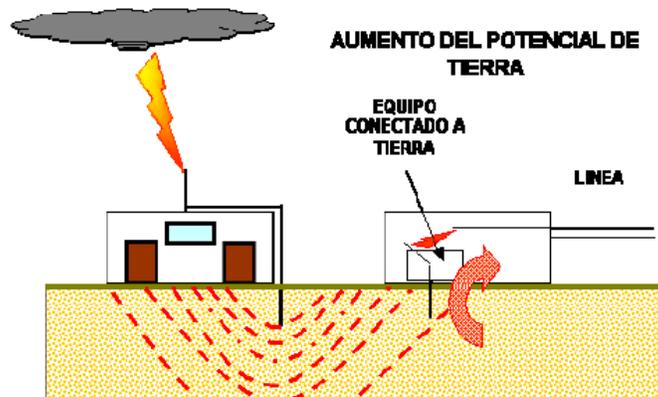


Figura 21 Aumento del potencial de tierra.

Se establecen tomas de tierra con objeto de:

1. Limitar la tensión que con respecto a tierra.
2. Asegurar la actuación de las protecciones
3. Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.
4. Liberar descargas de estática.

La puesta a tierra como protección va siempre asociada a un dispositivo de corte automático, sensible a la intensidad de defecto que origina la desconexión del circuito, así, la corriente a tierra producida por la resistencia de fuga es nula ($R_f = 0$), debe hacer actuar un interruptor termomagnético en un tiempo sumamente corto.

- ELEMENTOS A PROTEGER
 - Instrumentos Sísmicos (Sensores y digitalizador registrador).
 - Equipo de referencia de tiempo GPS.
 - Equipos de comunicación (satelital y/o radio modem de amplio espectro).

- COMO SE PROTEGEN

<ul style="list-style-type: none"> ◦ Puesta a tierra. ◦ Regulador de voltaje. ◦ Supresores de picos. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Fusibles. ◦ Detector de descargas atmosféricas. ◦ UPS.
---	--

Regulador Ferro-resonante

La ferresonancia es la propiedad del diseño de un transformador en el cual contiene dos patrones magnéticos separados con acoplamiento limitado entre ellos. La salida contiene un circuito resonante paralelo que toma su potencia del primario para reemplazar la que es entregada a la carga. Hay que notar que la resonancia en este caso es similar a aquella en los circuitos lineales con condensadores o inductores en serie o paralelo, en donde la impedancia tiene un pico a una frecuencia en particular.

El diseño de este tipo de reguladores es muy confiable y por ningún motivo puede entregar tensiones de salida superiores a la nominal; esto cubre inclusive una falla interna en el regulador. Debido a la naturaleza ferro-resonante del regulador, la corriente de salida se automatiza protegiendo a la unidad de daños internos haciendo innecesarias protecciones adicionales tales como fusibles o interruptores termomagnético. En caso de corto circuito, la corriente de salida se limita al 125 – 200% de su valor nominal. El regulador puede operar en esta condición de saturación por tiempos prolongados sin sufrir daño alguno siempre y cuando no se encuentre trabajando todo el tiempo así, ya que en casos extremos podría llegar a un sobrecalentamiento del mismo.

Estos reguladores proporcionan un alto rechazo al ruido y picos provenientes de la línea comercial, cuando ésta sobrepasa su valor nominal el regulador recorta la señal y aunque ya no es una senoidal pura los equipos pueden funcionar con ella, el exceso de energía lo disipa en forma de calor, es por ello que en ocasiones este tipo de reguladores irradian ligeramente calor, estas características son lo que los hace adecuados en lugares donde la línea eléctrica comercial está contaminada por ruido eléctrico y picos generados por cargas tales como motores, hornos eléctricos, así como perturbaciones atmosféricas. Para los reguladores de tensión de línea nominal de 127 Vca, la salida se mantiene dentro del -10% del regulador a plena carga a tensiones de línea de 80 Vca y al 50% de carga opera aceptablemente a tensiones de línea tan bajas como 55 Vca. Están contruidos con un mínimo número de partes que lo hacen tan resistente a la vibración y al impacto como un transformador de uso ordinario. Debido a la ausencia de partes móviles y de circuitos electrónicos de retroalimentación, la corrección se inicia al mismo tiempo que la perturbación, terminando dicha corrección a la salida en un tiempo máximo de 1 ½ ciclos.

Switch industrial

Este tipo de dispositivo se utiliza para intercomunicar hasta cuatro diferentes instrumentos bajo el protocolo internet, en un amplio rango de temperaturas a bajo consumo, son altamente resistentes a factores externos como la temperatura, humedad, pH, presión, flujo, viscosidad, densidad, peso, la vibración, el par , RPM, tensión, corriente, radiación.

Dentro de sus características es brindar acceso y control por satélite, circuito cerrado de televisión, voz y de intercomunicación, radio de dos vías por mencionar algunas; pueden funcionar en conjunto con muchos dispositivos como motores, lugares con altas y/o bajas temperaturas, de alto contenido químico, atmósfera vaporosa etc.

El ADAM-6520 BE es un dispositivo industrial de 5 puertos con conectividad Ethernet de 10/100 Mbps (velocidad de transferencia) no administrable. Con un diseño sólido de calidad industrial asegura un funcionamiento confiable. Dicho dispositivo se alimenta de un amplio rango de voltaje de 10 a 30 Vcc en el bloque de terminales. La temperatura de funcionamiento es de -10 a 70 °C, cada puerto tiene un par de LEDs que indican el estado del enlace y la actividad portuaria. Ofrece una protección de supresor de picos en cada puerto RJ-45 de Ethernet hasta por 4000 Vcc.

SUPRESORES DE PICOS DE VOLTAJE

Están constituidos principalmente por Varistores de Óxidos Metálicos (MOV's). Se instalan fácilmente a la entrada de la acometida eléctrica de cualquier instalación residencial o comercial y cuando un pico de voltaje causado por una descarga eléctrica o desconexión de cargas altamente inductivas, el dispositivo "recorta" inmediatamente a un nivel seguro, canalizando y disipándola hacia el sistema de tierra física.

Los picos de voltaje y sobrecargas son un incremento en la tensión nominal de la línea eléctrica comercial, con frecuencia provocado por un cambio o demanda de consumo súbitos de más electricidad, como ocurre al poner en funcionamiento un electrodoméstico grande, un triturador de basura, un acondicionador de aire, una lavadora, una secadora, un refrigerador, etc.

- Un pico mide habitualmente menos de 500V y dura menos de dos segundos.
- Una sobrecarga por definición, tiene una duración mucho más corta, de menos de un milisegundo pero puede ser de hasta miles de Volts.

Ambos tipos de perturbaciones pueden dañar el equipo electrónico de modo que sea imposible repararlo, además del cambio en la demanda de electricidad, el mal tiempo (descargas atmosféricas) y los trabajos de mantenimiento usuales de la compañía eléctrica pueden producir picos de corriente dañinos en las líneas eléctricas.

Los supresores de picos actúan canalizando el voltaje excesivo y peligroso como vemos en la figura 22, además evitan que afecte la sensibilidad del equipo. Como las esponjas los protectores de picos tienen una capacidad de absorción limitada. Una vez que se rebasa su capacidad, la unidad ya no protege a su equipo y debe sustituirse.

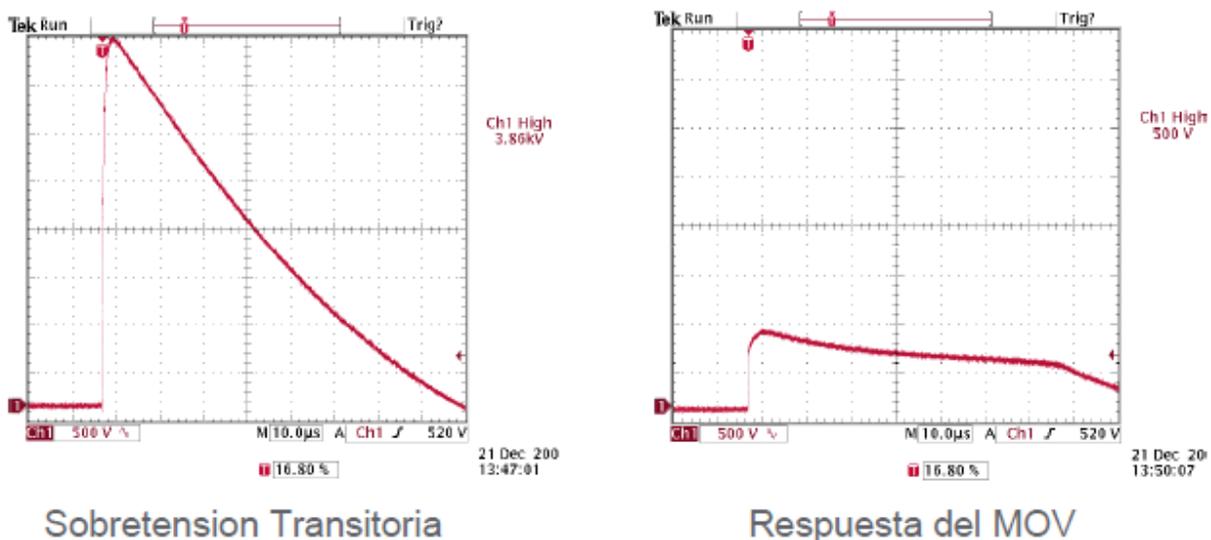


Figura 22 Supresores de picos.

La supresión de picos es importante porque incluso los pequeños picos o sobrecargas pueden destruir o afectar el rendimiento de cualquier equipo electrónico. El daño se puede dar ya sea instantáneamente o al paso del tiempo, conforme pequeñas sobrecargas van causando el deterioro gradual de los circuitos internos. El uso común de microprocesadores ha aumentado la necesidad de supresión de picos, porque estos procesadores son generalmente muy sensibles a las fluctuaciones de voltaje.

PUESTA A TIERRA

Los procedimientos para desarrollar sistemas de tierras se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja. Los conceptos son científicos pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo, y equipos a proteger.

Además tenemos que considerar que la puesta a tierra de un sistema eléctrico es esencial para la seguridad de las personas y para su funcionamiento adecuado, incluso es requerida por las autoridades en cumplimiento de la norma *NOM-022-STPS-1999*, referida a la electricidad estática en los centros de trabajo.

Para su estudio apropiado se analizarán los sistemas de tierra según su aplicación.

Puesta a tierra de los sistemas eléctricos.

El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es limitar cualquier sobrevoltaje que pueda resultar de descargar eléctricas, fenómenos de inducción o de estática. También es conocido como Sistema de Tierra Física o Sistema del electrodo de tierra (figura 23), el cual cubre el sistema del electrodo de tierra y todas las conexiones hechas para realizar un sistema de puesta a tierra efectiva, es la conexión física de un sistema a un electrodo bajo tierra. El sistema electrodo de tierra puede consistir en una varilla, tubería u otro electrodo, práctica aprobada por la normatividad en México y debe tener un contacto directo con la tierra. Los electrodos más usados son las varillas Copperweld. Por ningún motivo debe utilizarse tubería de gas.

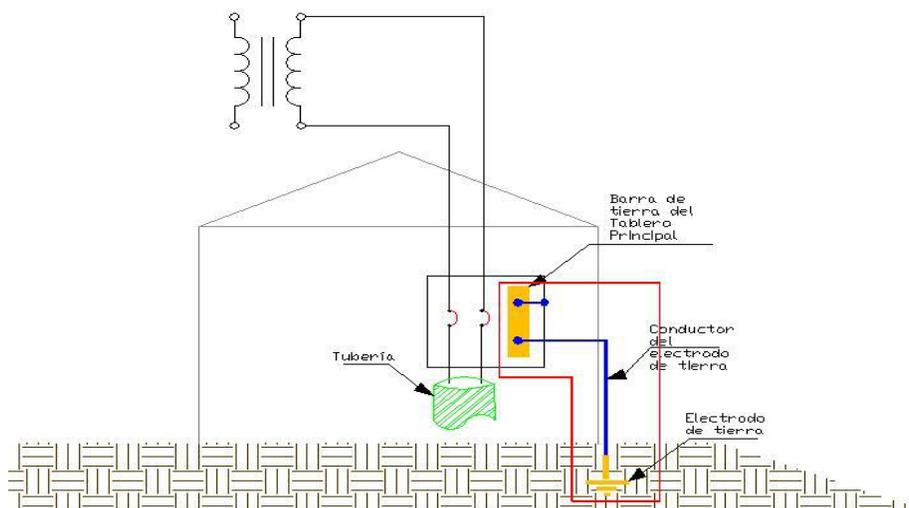


Figura 23 Sistema de Tierra Física

Puesta a tierra de los equipos eléctricos.

Su propósito es mitigar el riesgo de sobrecarga o corto circuito e impedir que dicho riesgo afecte a los equipos conectados a la red eléctrica. Se logra conectando todo el sistema eléctrico a un circuito de descarga dirigido a la tierra, se conectan todas las partes metálicas que pueden llegar a energizarse con un conductor apropiado a la corriente de corto circuito del sistema en cuestión.

Puesta a tierra de protección electrónica.

Para evitar la destrucción de los elementos semiconductores por voltaje, se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero, que puede ser puesta a tierra.

Con la creciente demanda de instalación de redes de computadoras, el aterrizaje correcto de equipo de telecomunicación es crítico para asegurar la operación de los sistemas. La sensibilidad del equipo electrónico requiere que los cables de telecomunicaciones y equipos sean equipotenciales para prevenir corrientes de fuga y transitorios que puedan dañarlos. Esto requiere un diseño completo de sistemas de tierras más allá del básico “cable verde” en general, un sistema de tierras para Telecomunicaciones consta de los siguientes componentes: conductor de Tierra de Telecomunicaciones, barra principal de tierra de telecomunicaciones (BPTT), dicha barra es una extensión dedicada del sistema de tierras de telecomunicaciones de edificios, es en este punto donde se conecta una Barra de Tierra para Telecomunicaciones (BTT) y el equipo dicha barra conecta los sistemas y equipos de telecomunicaciones. Ambas la BPTT y la BTT aseguran baja resistencia a la corrosión del sistema y libre contacto para las zapatas.

El conductor para interconectar la BPTT y la BTT debe ser continuo y correr lo más recto posible. Cuando la estructura del recinto este efectivamente aterrizada, cada BTT deberá ser conectada al acero de construcción en el mismo cuarto con un cable No 6 AWG poniéndolo siempre a la distancia más corta posible para el sistema de Tierras (figura 24).



Figura 24 Barra de Tierras de Telecomunicaciones.

Características

- Las barras de tierras proveen conexiones de baja resistencia
- Soportes galvanizados para prevenir corrosión.
- Aisladores para las barras de tierras.
- El diseño de las barras BPTT y BTT permite futuras expansiones para cumplir con cualquier requerimiento.

Puesta a tierra de protección atmosférica.

Este sistema establece la referencia para las descargas atmosféricas, tormentas y descargas eléctricas, tanto para el personal que labore cerca, como para la preservación del equipo.

Los elementos que conforman este sistema son los siguientes:

- Terminales aéreas;
- Conductores de bajada
- Sistema de puesta a tierra.

Las terminales aéreas son elementos metálicos encargados de dirigir las emisiones eléctricamente dinámicas de la atmósfera hacia la tierra, por medio de los conductores de bajada y el sistema de tierra. Estas terminales pueden ser elementos metálicos verticales, cable aéreos tendidos horizontalmente o una combinación de ambos. En el mercado existen variaciones de terminales (figura 25), desde el uso común de puntas pararrayo lisas de 0.3, 0.6 o 1.22 [m], hasta terminales ionizadas con puntas en todas las direcciones posibles. La norma *NMX-J-549- ANCE-2005* sólo establece el uso de puntas pararrayo lisas.



Figura 25 Puntas de pararrayos

Por su parte, se permite que los conductores de bajada puedan ser formados por solera, barra redonda, cable, acero estructural o de refuerzo, llamado también componente natural. En cualquier caso, los conductores de bajada deben ser desnudos (sin aislamiento), a excepción de que sean conductores con aislamiento diseñados para el confinamiento de campo eléctrico producido por la corriente de la descarga atmosférica.

Los materiales utilizados, tanto en el sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas como en todo el sistema de tierra, deben tener alta conductividad y durabilidad, además de que deben ser resistentes a la corrosión provocada por las condiciones ambientales, la composición del suelo o agua y/o contaminantes y el contacto con metales o aleaciones que generen corrosión por efecto galvánico también conocido como erosión electroquímica metálica.

El propósito principal de este sistema es que las descargas atmosféricas no afecten el desarrollo de ningún proceso en el sistema eléctrico. La metodología para lograr este propósito es utilizar uno o más Electroodos de Tierra y unir éste o éstos al sistema de Tierra Física.

Pararrayos

A primera impresión, parece ilógico que la norma exija la interconexión de los dos sistemas, ya que traemos parte de la energía del rayo hacia nuestros equipos; sin embargo, si no hubiera ésta interconexión, existiría una diferencia de potencial entre éstos, y se produciría el salto del arco o chispas, que podría causar graves daños y aun la muerte de las personas, se

debe recordar que el propósito primordial de un sistema de protección es el resguardo de la seguridad del personal, y en segundo término, el resguardo de los equipos, este tipo de protección lo podemos ver en la figura 26.

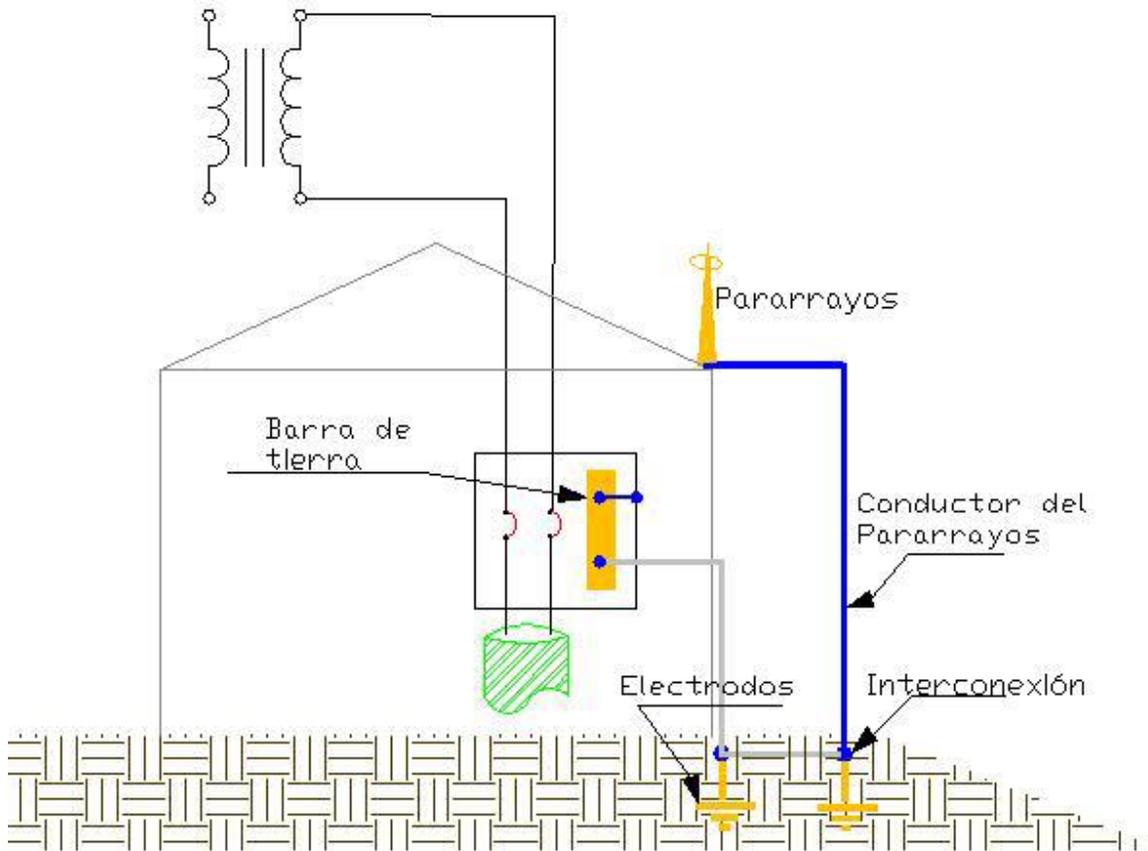


Figura 26 Protección contra descargas atmosféricas

Un sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTA) diseñado e instalado de acuerdo con las especificaciones y requerimientos indicados en la norma *NMX-J-549-ANCE-2005* relativa a los mismos, reduce el riesgo de daño que puede provocar una descarga eléctrica.

La norma *NMX-J-549-ANCE-2005* establece como método para lograr el diseño óptimo de un sistema de protección contra descargas atmosféricas el de la esfera rodante, que consiste en pasar una esfera alrededor del perímetro del edificio o inmueble a proteger, para obtener la ubicación, distancia de seguridad y el total de terminales aéreas.

Conductor Neutro.

El conductor neutro es la referencia del sistema a tierra debido a que, en un sistema aterrizado correctamente, se conecta a tierra en el lado del transformador de la compañía suministradora de energía y este conductor se trae a nuestro equipo de servicio a la entrada de la acometida de nuestro inmueble. En este punto se establece la unión neutro-tierra en la barra de tierra, y se conecta el conductor del electrodo de tierra al conductor neutro.

Puesta a tierra de protección electrostática.

Sirve para neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando la tierra física como referencia de voltaje cero.

Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deben quedar puestos a tierra.

Puesta a Tierra Aislada.

A principios de los 70's grandes e importantes empresas en Estados Unidos experimentaban problemas de ruido eléctrico e interferencia de alta frecuencia en las tuberías o canalizaciones que protegían los cables de señales o servían de conductores de tierra. Por ese motivo, se inventó otro conductor de tierra, como conductor separado, "aislado" de la tubería, diferente del conductor de tierra de seguridad, con la exclusiva función de proporcionar una tierra libre de ruido. A este tipo de tierra se le conoce como tierra aislada o dedicada. La tierra aislada para la puesta a tierra de los equipos electrónicos sensibles se conecta en el mismo punto único de conexión que la puesta a tierra de seguridad o convencional el cual podemos ver en la figura 27.

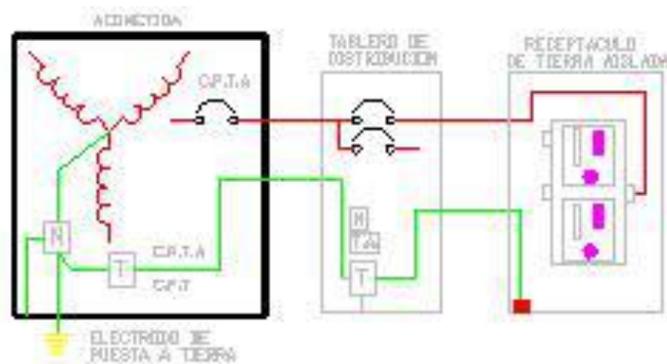


Figura 27 Puesta a Tierra aislada

Según la norma *NOM-001-SEDE-2005*, el conductor de puesta a tierra aislada debe tener aislamiento de color verde o de color verde con franjas amarillas. Este conductor debe de instalarse con los conductores del circuito, dentro de las mismas canalizaciones o cable, o soporte para cables tipo charola. De no hacerse así, se incrementará la impedancia durante el funcionamiento normal o cuando ocurra una falla a tierra.

Sistema de Tierra de Referencia de Señal.

Un sistema de puesta a tierra de referencia de señal es una red interconectada externamente de conductores utilizados para unir las envolventes metálicas, gabinetes y equipos de alimentación de equipo electrónico. Este sistema de puesta a tierra es una recomendación por los ingenieros de diseño y por los fabricantes de equipos electrónicos. El sistema de puesta a tierra de referencia de señal no deberá estar aislado del sistema de electrodos de puesta a tierra del sistema eléctrico (figura 28). Es decir, para cumplir con los lineamientos de las normas mexicanas e internacionales debe estar interconectado con el sistema de tierra general.

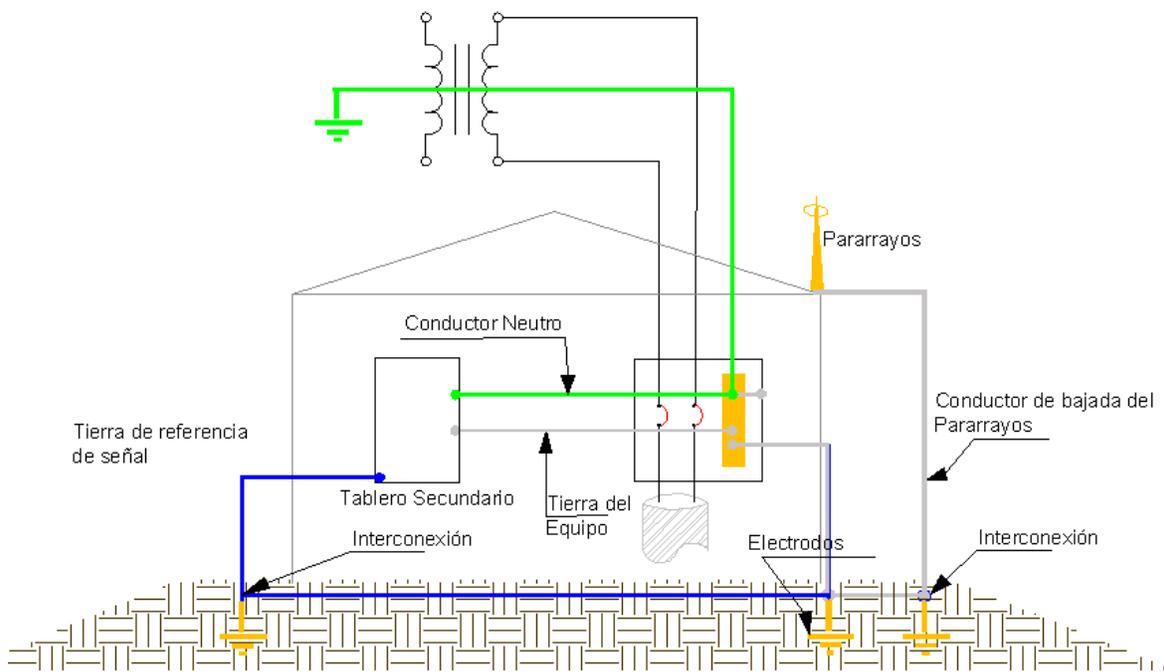


Figura 28 Sistema de tierra de referencia de señal

Los objetivos del sistema de puesta a tierra de referencia de señal son:

- Mejorar la seguridad en la transferencia de señal por la reducción de ruido eléctrico sobre la banda de frecuencia entre la interconexión de equipos; en pocas palabras, proveer una tierra sin contaminación, separada de la tierra del equipo.
- Proveer una trayectoria de baja impedancia para prevenir el daño de circuitos de señal, además de una referencia para todos los equipos de telecomunicación, servidores, computadoras, racks de equipos y chasis de los mismos.
- Prevenir daño a los equipos electrónicos y a los circuitos de señal cuando pueda ocurrir una falla a tierra.

Así mismo, toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en ningún punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma las personas en tránsito corran el riesgo de que puedan estar sometidas a una diferencia de potencial peligrosa, durante cualquier defecto de la instalación eléctrica o en la red unida a ella.

Cabe hacer notar que las puestas a tierra no garantizan la seguridad total de las instalaciones eléctricas ante los innumerables transitorios, reacciones anómalas o imprudencias. Muchas de las anomalías eléctricas, distorsión de armónicas y problemas de factor de potencia, son debidas a un ineficaz sistema de conexión a tierra.

Definición de Electrodo de puesta a tierra

Los electrodos de puesta a tierra son elementos metálicos conductores comúnmente llamados varillas que se entierran en terrenos previamente estudiados y que son más o menos blandos y sirven para aumentar la longitud del conductor del sistema de tierra en terrenos pequeños y en terrenos secos para encontrar zonas con menor resistividad. La importancia de este elemento en un sistema de tierra es muy grande ya que su función primordial es introducir las corrientes de falla dentro del seno de la tierra.

Los electrodos pueden ser contruidos de tubos o varillas de hierro galvanizado y no deben de tener menos de 2.4 m de longitud y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2.4 m de longitud estén en contacto con la tierra, estos son más utilizados en terrenos cuyas propiedades químicas no deterioren a dicho material, o bien de Copperweld que consiste en una varilla de hierro enfundada en una lámina de cobre (figura 29). El cobre está adherido en forma continua a la varilla de hierro. Este tipo de electrodo es utilizado en terrenos cuyos constituyentes son mas corrosivos ya que tiene una excelente resistencia a la corrosión además de que tiene buena conductividad y buena resistencia mecánica para ser clavado en el terreno.



Figura 29 Electrodo de Copperweld

Cuando la roca está a menos de 2.40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para tal caso a 80 cm de profundidad por lo menos. La eficiencia de un electrodo enterrado (varilla Copperweld, anillo, malla, etc.) es evaluada en

términos de resistencia. La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \left[\ln \left(4 \cdot \frac{L}{r} \right) - 1 \right]$$

donde:

ρ es la resistividad del terreno en [Ω -m]

L es el largo de la varilla en [m]

r es el radio de la varilla en [m]

Tipos de Electrodo de puesta a tierra.

Dependiendo del tipo de sistema de tierra que se pretenda instalar la forma y diseño de los electrodos puede no ser solo un electrodo y tomar diferentes formas entre ellas podemos identificar las siguientes:

- Anillo de tierra. Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de sección transversal no menor al calibre 2 AWG y de longitud no menor a 6 m enterrado a una profundidad de 80 cm y, que rodee al edificio o estructura. Estos anillos de tierras se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, para proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos electrónicos sensibles.
- Electrodo de placa. Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0.2 metros cuadrados de superficie en contacto con el suelo. Y las placas de acero o fierro deberán tener por lo menos 6.4 mm de espesor. Si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1.52 mm de espesor.
- Mallas. Cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto, la norma oficial mexicana de instalaciones eléctricas pide un sistema de malla con múltiples electrodos y conductores enterrados, similar a lo establecido en el

Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos (NEC). (NEC, Art. 921-18) La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0.30 a 1.0 [m], colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

- Electrodo para pararrayos. Con este nombre se distinguen al conjunto de electrodos que se instalan en las partes más elevadas de la construcción donde se instalara el sistema de tierras y sirven para completar la protección de posibles descargas atmosféricas directas a los equipos del inmueble

Debido a que las descargas de los rayos son de alta frecuencia se recomienda que las terminales de descarga de los pararrayos tengan como mínimo el mismo calibre del cable del sistema de tierras; esto con el fin de atenuar los efectos del fenómeno.

Tenemos un par de métodos más para proteger a nuestras instalaciones o equipos contra descargas atmosféricas los cuales son explicados a continuación

- Método de la jaula de Faraday

En 1866 Clark Maxwell propuso un sistema de protección contra tormentas eléctricas que se conoce como jaula de Faraday, se basa en el fenómeno descubierto por Michael Faraday que dice: si rodeamos un ambiente con una lámina conductora, el campo eléctrico externo redistribuye los electrones libres en el conductor, dejando una carga positiva neta sobre la superficie externa en algunas regiones y una carga negativa neta en otras. Esta distribución de carga ocasiona un campo eléctrico adicional tal que el campo total en todo punto interior es cero. El dispositivo consiste en un retículo o malla tendida a lo largo de los aleros del tejado o terraza de grandes edificios y conectada eléctricamente a tierra. Se emplean en aquellos edificios donde predomina la superficie frente a la altura.

Actualmente estos sistemas de protección se conocen como Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE). Sin embargo el uso de sistemas electrónicos-digitales, más abundante día a día, ha establecido que el SEPTE sea insuficiente para las necesidades de protección de los equipos electrónicos sensibles utilizados en la industria e incluso en el hogar. Esto hizo necesario el desarrollo de un

nuevo sistema de protección denominado Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas (SIPTE), principalmente consiste de una conexión equipotencial, blindaje electromagnético y dispositivos que permitan la protección contra sobre voltajes.

- Método de la esfera rodante

Este método es utilizado para determinar el número y la ubicación de los elementos que se necesitan en un sistema de protección contra tormentas eléctricas para una determinada estructura. Consiste en girar una esfera imaginaria sobre la tierra, alrededor y por encima de la estructura que se pretende proteger o cualquier otro objeto que este en contacto con la tierra y sea propenso a captar e interceptar la corriente de un rayo. La esfera imaginaria debe rodarse desde el nivel de tierra y donde toque por primera vez a la estructura debe colocarse una terminal aérea denominada “pivote”, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando este apoyada en la tierra y sobre la punta de la terminal aérea “pivote”. Después debe rodarse la esfera por encima del “pivote” y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque a la estructura que se pretende proteger. Este procedimiento se realiza hasta que la esfera imaginaria haga contacto con la tierra nuevamente y donde el espacio imaginario que cubrió su recorrido es el volumen que será protegido como se muestra en la figura que sigue:

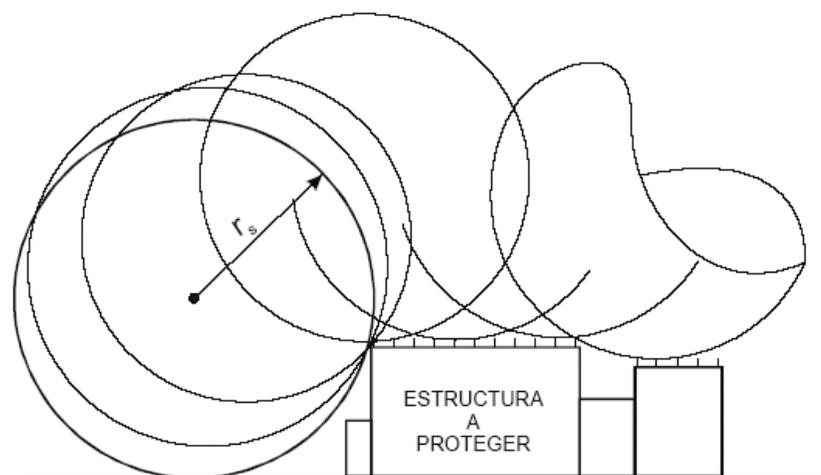


Figura 30 Método de la Esfera Rodante (Figura A.2 de la NMX-J-549-ANCE-2005.)

Donde el radio r_s de la esfera imaginaria se determina de acuerdo al nivel de protección que se requiere para cierta estructura o por el valor de la corriente de acuerdo a la tabla 1. La tabla del nivel de protección requerido para diferentes estructuras o edificios se encuentra en la norma NMX-J-549 mientras que para el cálculo de la corriente se realiza el método que a continuación se describe.

NIVEL DE PROTECCION	Radio de la esfera r_s y su Magnitud de corriente i .		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger.
	r_s [m]	i [kA]	h [m]
I	20	3	≤ 20
II	30	6	≤ 30
III	45	10	≤ 45
IV	60	16	≤ 60

Nota: El valor de la corriente representa un valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.

Tabla 1 Altura de la terminal aérea vertical de acuerdo al nivel de protección. (Tabla 3 de la NMX-J-549-ANCE-2005)

Podemos utilizar el método de la esfera rodante con el de pararrayos en una construcción o edificio que así lo requiera, este método se muestra a continuación en la figura 31:

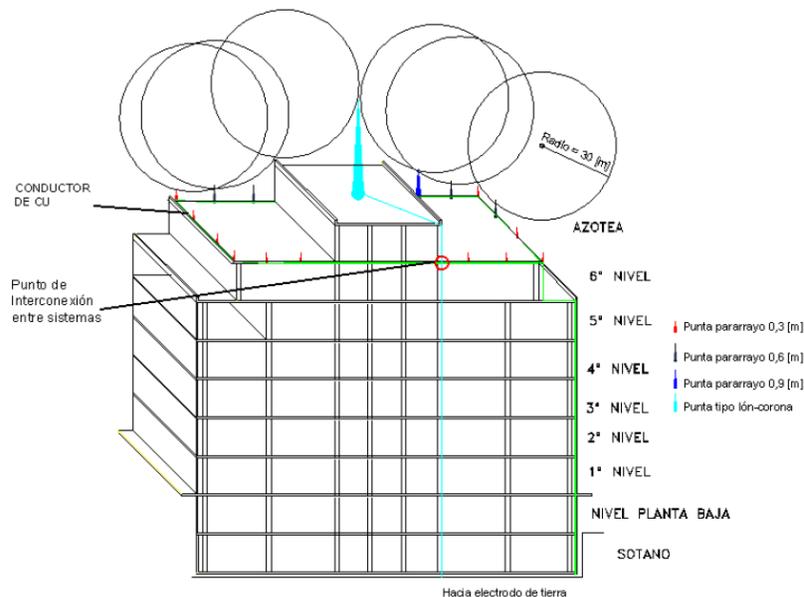


Figura 31 Pararrayos y jaula de Faraday en un edificio

Selección del calibre del conductor.

En la práctica, lograr la especificación del voltaje neutro-tierra inferior a 2 Vpp de algunos equipos electrónicos es un tanto difícil. Para lograr esto, es necesario reducir la impedancia del cable, lo que repercute en un mayor o menor calibre del mismo. Para calcular el calibre óptimo del conductor neutro-tierra, se puede utilizar una fórmula empírica para el cálculo aproximado del conductor:

$$R = \frac{30.48}{(I_{cb})(L_{m'})}$$

Donde:

L_m : Longitud máxima del conductor en km

I_{cb} : Corriente de disparo del interruptor

R: Resistencia del conductor neutro medido en Ohm-km

El calibre del conductor debe seleccionarse de acuerdo a la tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-2005, de acuerdo a la capacidad de ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente del circuito antes de los equipos. Para instalaciones en salas de computadoras se recomienda que sea del mismo calibre que los conductores de fase, recomendación incluso requerida por muchos fabricantes de equipos.

Tabla 2.1.- Tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-2005. Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos.

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder:	Tamaño nominal mm ² (AWG o Kcmil)	
	Cable de cobre	Cable de aluminio
(A)		
15	2.08 (14)	-----
20	3.31 (12)	-----
30	5.26 (10)	-----
40	5.26 (10)	-----
60	5.26 (10)	-----
100	8.37 (8)	13.3 (6)
200	13.3 (6)	21.2 (4)
300	21.2 (4)	33.6 (2)
400	33.6 (2)	42.4 (1)

Tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-2005 Tamaño nominal de los conductores de puesta a tierra

Medición de la resistividad del terreno.

La resistividad del terreno es la resistencia al paso de la corriente eléctrica de un volumen que tenga una sección transversal y longitud unitarias; sus unidades son $[\Omega \cdot m]$ (figura 32).

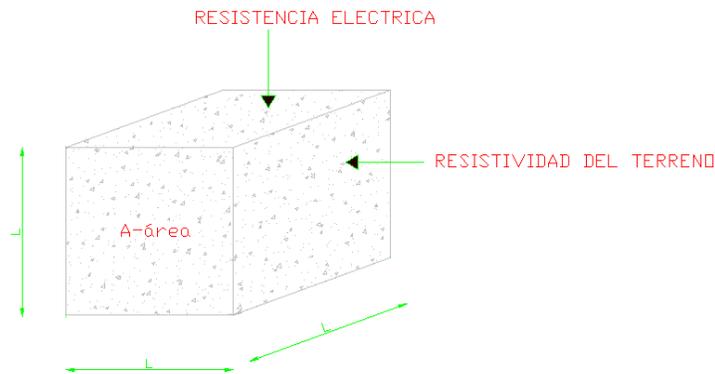


Figura 32 Resistividad del terreno

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

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

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

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

donde

R_T = resistencia del sistema de tierra.

ρ = resistividad del terreno en [Ohms-metro].

A = área en metros cuadrados de la sección transversal.

L = longitud en $[m]$

Sin embargo, calcular la resistividad a partir de la resistencia del sistema de tierra es imposible, ya que el diseño de un sistema de tierra parte del conocimiento del valor de resistividad del terreno. Para lograr lo anterior, se utilizan varios métodos aproximados o estimados de cálculo de resistividad del terreno. Hay que mencionar que la medición de la resistividad debe incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad en el momento de efectuarlas, tipo de terreno, profundidad de la medición y tipo de sales disueltas en el terreno, esto se debe considerar para tener una lectura confiable de la resistividad del terreno que es importante para el diseño de un sistema de tierra.

El instrumento que se utiliza para la medición de la resistividad del terreno es el Megger, ya sea de 3 o de 4 puntos (figura 33), se recomienda que la medición se haga en las peores condiciones, es decir, cuando el terreno se encuentre totalmente seco y realizar mediciones en varios puntos del terreno y en profundidades razonables que permitan juzgar la homogeneidad y condiciones de humedad del terreno.



Figura 33 Megger

La tabla 2 muestra los valores medios de la resistividad de un terreno aunque para un diseño real las resistividades deben ser medidas con el Megger.

Tipo de terreno	Resistividad [Ω -m]
Agua de mar	10^0
Tierra orgánica mojada	10^1
Tierra húmeda	10^2
Tierra seca	10^3
Concreto	10^3
Roca	10^4

Tabla 2 Valores medios de resistividad de un terreno

La resistividad de un terreno depende fuertemente del nivel de humedad, si esta es menor del 22% en peso, la resistividad crece bruscamente. Para solucionar este problema se usan electrodos lo suficientemente largos para llegar a capas de mayor humedad e instalar los conductores de la red a mayores profundidades. Una capa de grava o roca triturada colocada en la superficie ayuda a evitar la evaporación del agua así como también reduce la magnitud de los choques eléctricos, dada su alta resistividad. La temperatura es otro factor que altera la resistividad del terreno. A menos de 0°C la resistividad crece bruscamente y a mayor temperatura decrece.

Método de Wenner o de 4 puntos.

Este método fue desarrollado por Frank Wenner en 1915. En la siguiente, se observan las conexiones que deben realizarse para llevar a cabo la medición. Los electrodos deben ser enterrados en una línea recta a una misma distancia entre ellos "a" y a una misma profundidad "b". La distancia *b* no puede exceder un veinteavo de la distancia *a* es decir *b* es *menor que una vigésima parte de a*. Se utilizan cuatro electrodos de prueba iguales y se entierran en el suelo apartados a una distancia igual en línea recta y se conectan por medio de 4 conductores de prueba al aparato de medición de resistencia de tierra (figura 34).

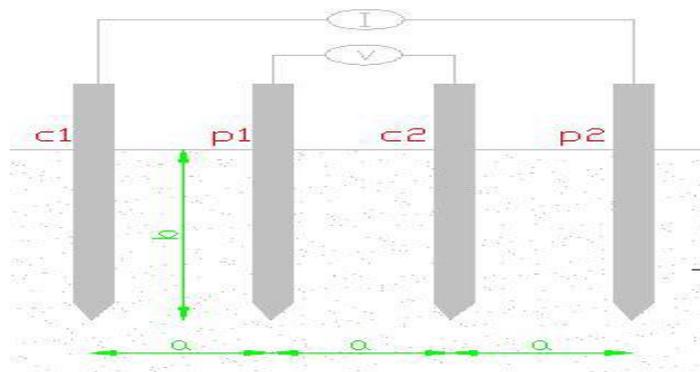


Figura 34 Método Wenner

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

$$\rho = 2\pi aR$$

Donde:

ρ : resistividad promedio a la profundidad P.

a : distancia entre los electrodos.

R : resistencia medida por el Megger.

Método de los 3 puntos o Método aproximado.

Este método también se utiliza para la medición de la resistencia a tierra del terreno, con la inclusión de una variante de la fórmula para calcular la resistividad del terreno:

$$\rho = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L} \left(\ln \frac{2.943 \cdot L}{d} \right)$$

Donde:

ρ : Resistividad del terreno

L : Longitud de la varilla enterrada

d : diámetro de la varilla enterrada

R : Resistencia medida con el aparato de medición.

Medición de la resistencia de un sistema de puesta a tierra.

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

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

Donde:

ρ : Resistividad del terreno en [Ω -m]

L: Longitud en [m]

A: Área de la sección transversal en [m^2]

Medición de resistencia de un sistema de puesta a tierra

Se han desarrollado métodos directos de medición que simplifican y agilizan la medición de la resistencia de los electrodos. Los métodos más comunes para realizar esta medición se presentan a continuación. Hay que decir que estos métodos sirven para sistemas de tierra de baja y mediana tensión donde principalmente el valor de la resistencia deba ser menor a 15 [Ω], como lo marca el Código Nacional Eléctrico (NEC-NFPA70-2005), en su caso, o menor a 10 [Ω], como lo marca el *Std 80-1986-ANSI/IEEE, NMX-J-549-2005* y *NOM-001-SEDE-2005*. La determinación de la resistencia de un sistema se realiza con aparatos de corriente alterna o directa periódicamente alternada (aparatos que tienen una manivela mecánica) para evitar la polarización de los electrodos causada por la corriente. En cuanto a la magnitud de estas corrientes utilizadas van desde los pocos hasta cientos de miliamperes para sistemas instalados en zonas urbanas, a fin de evitar potenciales transferidos que son peligrosos para personas cercanas al área del sistema. En cuanto a la frecuencia utilizada el rango está entre 50 Hz y 150 Hz para sistemas pequeños y medianos. El conocimiento de la frecuencia permite al equipo descartar o neutralizar corrientes perturbadores que se acerquen.

Método de los tres puntos o de Caída de Potencial.

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

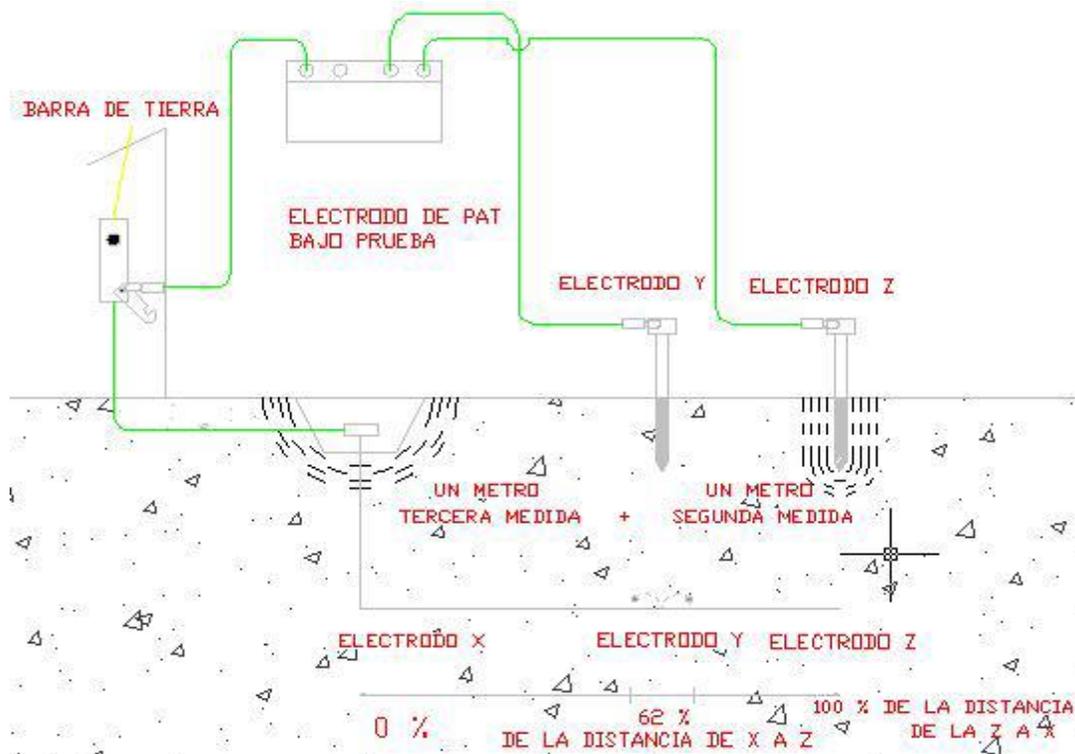


Figura 35 Método del 62%

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

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

Mejoramiento de la resistencia de tierra.

Existen prácticas recomendadas para hacer mejoras a la resistencia del terreno donde se instaló un sistema de tierra, dentro de las recomendadas por las normas mexicanas e internacionales se encuentran las siguientes:

Los sistemas con un solo electrodo deben utilizarse cuando el valor de la resistencia a tierra no exceda de 25 [Ω] en las condiciones más críticas. Para instalaciones subterráneas el valor recomendado de resistencia a tierra es 5 [Ω] (*NOM-001-SEDE-2005 (921.18b)*). Cuando la resistencia del electrodo único sea mayor del valor requerido, debido a un mal cálculo o degradación propia del material del electrodo, el valor de resistencia se puede reducir de las siguientes formas:

- Usando un electrodo de mayor diámetro. Usando electrodos de 19 mm (3/4") en lugar de varillas de 15 mm (5/8", fuera de norma) se logra una reducción en la resistencia a tierra de hasta un 10% máximo, sin embargo, el costo se incrementa, debido al trabajo de remozado y excavación.
- Usando electrodos más largos. En terrenos donde la superficie es blanda y de gran profundidad se pueden encontrar capas de terreno más húmedas entonces se podrán utilizar electrodos que se pueden unir unos a otros para lograr profundidades de hasta 5 m. Doblando el largo, se puede obtener una reducción de hasta el 40% de la resistencia a tierra. Otra ventaja es que con el uso de electrodos largos, se controla el gradiente de potencial en la superficie. El inconveniente de esta práctica es la necesidad de un electrodo de mayor longitud, o la unión con soldadura de dos o más electrodos, y la excavación.
- Conectando más de un electrodo en paralelo. En la norma oficial mexicana se recomienda para electrodos que no tienen una resistencia de 25 [Ω] o menos, que se deberán complementar con un electrodo adicional, de cualquier tipo. Deberán estar instalados a 1.83 [m] de distancia entre ellos y estar efectivamente conectados entre si. En la práctica se recomienda que estén separadas más del largo de una de ellas. La resistencia neta para n varillas R_n está determinada por la resistencia de una sola varilla R . Este es un valor aproximado que considera que las varillas están espaciadas por una distancia igual al diámetro del cilindro protector y representa el decaimiento de la capacitancia asociada con la propagación en la tierra.

- Tratamiento químico al terreno. El tratamiento químico del terreno nos permite bajar la resistividad del mismo sin utilizar una gran cantidad de electrodos, el relleno ideal debe compactarse fácilmente, no ser corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. Existen varios compuestos entre los cuales destacan los siguientes:
 - i. Sales puras. Las sales puras no actúan como un buen electrolítico en estado seco pero si se le agrega carbón vegetal, puede servir como absorbente de humedad y de las sales disueltas.
 - ii. La bentonita es una arcilla consistente en un silicato de aluminio, y tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco. Tiene una resistividad de 2.5 [Ω -m] con humedad del 300%. Sin embargo al perder el agua pierde resistividad y toda compactación lo que deriva en pérdida de contacto entre el electrodo y el medio lo que hace que se eleve la resistencia.
 - iii. El GEM (Ground Enhancement Material o material de mejoramiento del suelo) se muestra en la figura 36 y es un compuesto con naturaleza coloidal que tiene muy buenos resultados debido a que posee sales concentradas de metales que neutralizan la corrosión de las sales incorporadas, como también aditivos para controlar el PH del terreno.

Naturaleza del terreno	Resistividad [Ω-m]	Dosis GEM por m³
Terrenos cultivables y fértiles	50	1
Terraplenes compactos y húmedos	50	1
Terrenos cultivables poco fértiles	500	De 1 a 2
Suelos pedregosos desnudos arena seca Permeable	3000	2
Suelos rocosos fraccionados	6000	De 2 a 3
Suelos rocosos compactos	14000	De 3 a 4

Tabla 3 GEM

Otra ventaja de este compuesto es que al unirse con el terreno se crea un compuesto gelatinoso que permite conservar una estabilidad química y eléctrica por aproximadamente cuatro años. Para mayor eficacia, también se debe mantener humedecido.



Figura 36 Bulto de GEM

La aplicación de rellenos químicos para disminuir la resistencia en un sistema de tierras, es una práctica recomendada en la norma *NMX-J-549-2005*, en su apartado 4.3.4.5.

Un sistema de puesta a tierra debe ser integral. Es decir, debemos tener un único sistema de protección en nuestra instalación y no sistemas aislados de protección.

¿Cómo se debe seleccionar un sistema de puesta a tierra ?

- a.- Orden de importancia. Se debe conceder la máxima importancia a la seguridad del personal. Ante una pequeña descarga existe la posibilidad de muerte, pues sólo se requieren 100 [mV] y 100 [mA] bajo ciertas condiciones para que cualquiera sufra un electrocutamiento letal.
- b.- Sistema integral. El sistema debe ser Integral, es decir, se debe tener el mismo potencial de referencia en toda la instalación.
- c.- Cálculo del sistema. Un sistema de puesta a tierra que cumpla con las normas, debe ser calculado para disipar todo tipo de descargas, puesto que debe soportar descargas atmosféricas, también debe ser capaz de soportar las fallas de la subestación de potencia. Adicionalmente, el sistema debe prevenir las tensiones de toque y de paso de riesgo para el personal. Los calibres de los cables de interconexión deben ser calculados para conducir con seguridad las corrientes esperadas, de acuerdo a cada aplicación.

d.- Costos, instalación, mantenimiento y garantía. Finalmente, cuando se han cumplido todos los criterios anteriores, entonces se deben analizar estos últimos conceptos: La factibilidad, mantenimiento, costos y garantía.

Además de las protecciones citadas anteriormente existen un par de métodos más para proteger

FUSIBLES

Se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por *Efecto Joule*, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

El fusible eléctrico, denominado inicialmente como aparato de energía y de protección contra sobrecarga de corriente eléctrica por fusión, es el dispositivo más antiguo de protección contra posibles fallos en circuitos eléctricos, apareciendo las primeras citas bibliográficas en el año 1774, momento en el que se le empleaba para proteger a condensadores de daños frente a corrientes de descarga de valor excesivo. Durante la década de 1880 es cuando se reconoce su potencial como dispositivo protector de los sistemas eléctricos, que estaban recién comenzando a difundirse. Desde ese momento, hasta la actualidad, los numerosos desarrollos y la aparición de nuevos diseños de fusibles han avanzado al paso de la tecnología, y es que a pesar de su aparente simplicidad, este dispositivo posee en la actualidad un muy elevado nivel tecnológico, tanto en lo que se refiere a los materiales usados como a las metodologías de fabricación. El fusible coexiste con otros dispositivos protectores, dentro de un marco de cambios tecnológicos muy acelerados que lo hacen aparecer como pasado de moda u obsoleto, lo que no es así.

Hoy en día su uso está muy difundido alrededor del mundo. Estos desempeñan un papel vital en la protección de equipos y redes eléctricas asegurando que los efectos de las fallas que inevitablemente ocurren sean limitados y que la continuidad del suministro eléctrico a los consumidores sea mantenida a un alto nivel.

Además, el costo de un fusible es incomparablemente más bajo que el del equipo que

protege, por eso el uso de fusibles reduce considerablemente el costo final de energía. Hay varios tipos de fusibles, según sus características constructivas y los valores nominales y de falla que manejan.

TIPOS DE FUSIBLES

Se pueden clasificar según su tamaño y en función de su clase de servicio (figura 37).

Cartuchos cilíndricos



Cartucho fusible 14 x 51 mm, 25 A



Fusible y portafusible tipo D



Fusible NH00 o de cuchillas



Fusible D02, 63 A

Figura 37 Algunos tipos de fusibles.

Los fusibles de cuchillas o los de cartucho pueden llevar un “percutor” y/o indicador de fusión, el percutor es un dispositivo mecánico que funciona cuando se funde y que hace mover al percutor que generalmente acciona un contacto que señala la fusión del fusible y/o el actuar de una alarma.

Fusibles cilíndricos de vidrio (fig. 38) que se suelen utilizar como protectores en receptores como electrodomésticos, radios, fuentes de alimentación, etc.



Figura 38 Fusibles de vidrio.

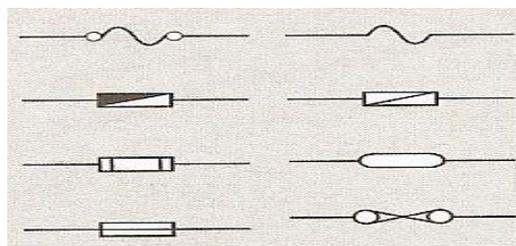
Cuando se cambian estos fusibles se deben sustituir por otro de las mismas características, no tan solo se debe mirar la tensión y corriente que soporta además se debe tener en cuenta la letra que lleva antes de la corriente porque según cuál sea la letra (F, FF, T, etc.) el fusible es más o menos rápido en su fusión (figura 39).



Fusibles para semiconductores.



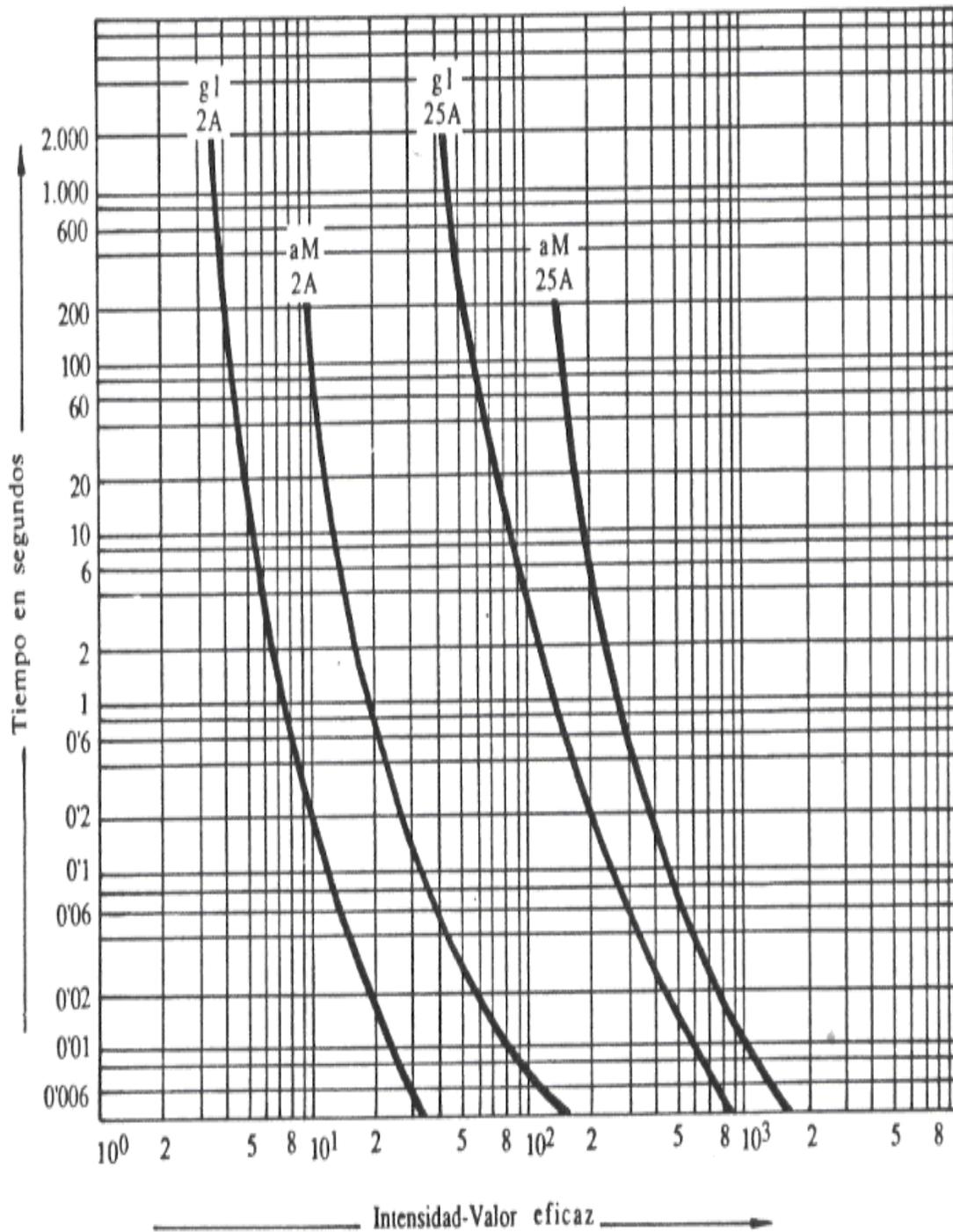
Fusible cortacircuito (alta tensión)



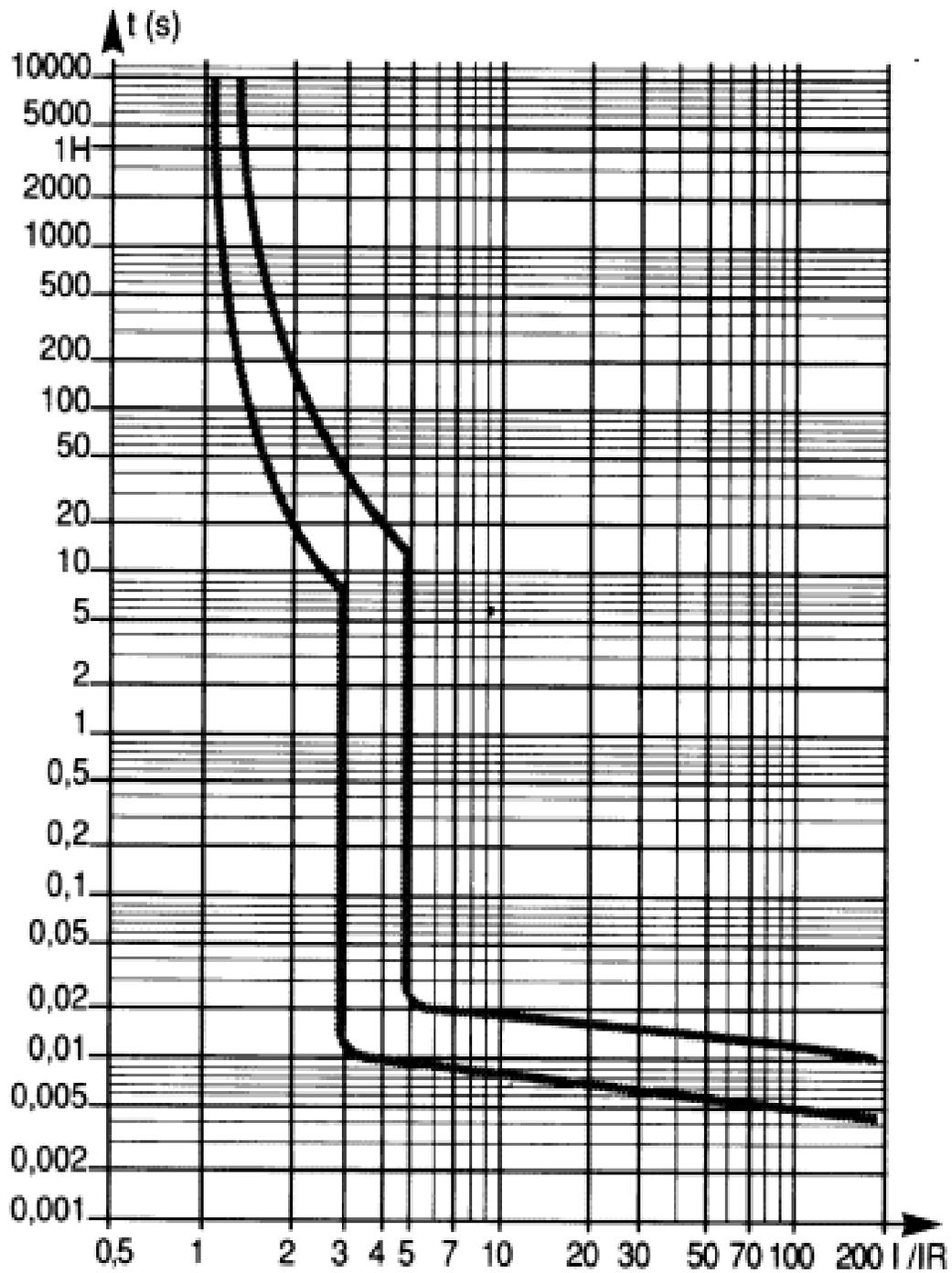
Representaciones de fusibles

Figura 39 Otros tipos de fusibles.

Para calcular que tipo de fusible se debe usar en cada caso se utilizan las siguientes tablas que describen su comportamiento.



Gráfica I-T para fusibles tipo gl en baja tensión



Grafica I-T para interruptores termomagneticos

DETECTORES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En condiciones climáticas normales, las cargas eléctricas están en equilibrio. Cuando se forman nubes las cargas empiezan a polarizarse con una carga eléctrica en la parte inferior de ellas mientras que en la Tierra se induce la carga contraria a la de la nube, este fenómeno puede llegar a formar un campo eléctrico en la atmósfera llegando a alcanzar decenas o centenas de kiloVolts, este proceso de formación de la descarga atmosférica o rayo puede afectar eléctricamente a cualquier instrumento o artefacto electrónico que se encuentre cerca de dicho fenómeno natural como fue explicado con anterioridad; ya que nadie está exento de dichas descargas debemos mitigar el riesgo de avería o destrucción total de nuestros equipos usando detectores de tormentas que nos permitan desconectar nuestros instrumentos de la toma de energía normal y suministrar la que sea necesaria para que los equipos operen de manera eficiente.

Existen 3 formas de detectar tormentas las cuales son:

1. Detección por ionización del aire o efecto corona, esta técnica se hace mediante la medición y comparación de las variaciones de campo eléctrico en el aire, de esa manera podemos medir o comparar los cambios bruscos que se crean momentos antes de la caída de un rayo, esta técnica es muy usual cuando queremos detectar un rayo a distancias cercanas a nuestros instrumentos.
2. Detección por radiofrecuencia, consiste en medir las emisiones electromagnéticas que tienen los rayos al atravesar la atmósfera desde la nube hasta el suelo, con esto podemos detectar tormentas o rayos a grandes distancias.
3. Detección de tormenta por medición de campo electrostático, consiste en hacer mediciones periódicas del campo electrostático del medio ambiente detectando así sus variaciones y dar como resultado la predicción del acercamiento de tormenta, aunque no precisan la caída de un rayo su utilización está enfocada para tomar decisiones preventivas locales.

Existen distintos tipos de aplicaciones para los detectores de tormentas como son:

- Prevención en procesos industriales al aire libre.
- Actividades al aire libre en general como son actividades deportivas, agrícolas, ganaderas o pesqueras.

- Salvaguarda de bienes sensibles como en sistemas informáticos, controles eléctricos o electrónicos (que es el objeto de estudio de este documento) entre otros.
- Infraestructuras como aeropuertos, carreteras, ferrocarriles, autopistas, teleféricos, etc.
- Prevención de riesgos laborales en general.

En las estaciones de banda ancha se han instalado detectores de tormentas de Rabun Labs. Inc. el modelo EPS1000 que brinda protección a todos los instrumentos reaccionando a la amenaza de daños mediante la detección de rayos mientras estos se encuentran a una distancia segura actuando de forma automática sin intervención humana.

Este instrumento tiene un sistema de protección que supervisa continuamente la atmosfera dentro de un radio de dos millas. Cuando se detecta un rayo dentro de ese rango, y alcanza una intensidad que puede provocar daños en el equipo, el sistema realiza automáticamente las siguientes funciones al mismo tiempo:

1. Para los equipos o sistemas que deben permanecer en funcionamiento durante una tormenta eléctrica, el sistema puede iniciar la puesta en marcha automática de un generador de stand-by y/o equipos de switching a una operación de UPS. Ambas fuentes de energía secundarias aíslan el equipo de la fuente de alimentación comercial. Este modo de operación se mantendrá vigente por un mínimo de 6 minutos después de que el último rayo detectado. El funcionamiento del equipo entonces cambia automáticamente al modo normal y el stand-by queda apagado.

2. Desconecta o aísla los circuitos que suministran energía a las tomas de corriente, pero el equipo o instrumentos siguen conectados, desde la fuente de alimentación de C.A. durante un mínimo de 6 minutos o hasta que la tormenta se mueve a una distancia segura. Entonces, el sistema restaura automáticamente todas las conexiones y reanuda el funcionamiento normal del equipo.

3. Desconexión del cableado de control al equipo remoto que se encuentra en funcionamiento (es decir, lectores de tarjetas, controles de puerta, cámaras de circuito cerrado de televisión, células de carga, etc.) que se conecta al equipo remoto a un puesto de

control. La desconexión o aislamiento puede ser en tan solo 0,4 segundos cada vez que se detecta un rayo, esta situación permanecerá hasta que la tormenta se encuentre a una distancia considerable, a continuación, restaura automáticamente todas las conexiones y reanuda el funcionamiento normal del equipo.

4. La protección de intercomunicación, equipos telefónicos, módems y faxes también es tomada en cuenta, cada vez que un rayo cercano es detectado, el sistema realiza una "acción de interrupción", que automáticamente desvía la línea telefónica y/o de intercomunicación a tierra para aproximadamente en 0,4 segundos, y luego se restaura automáticamente una vez que la tormenta se mueve a una distancia segura.

5. Para la radio y equipos de satélites, el sistema tiene un relé de conmutación coaxial que aísla la antena del transceptor de radio y el equipo de recepción por satélite. El sistema puede desconectar el equipo si el funcionamiento de la radio o satélite no puede ser interrumpido conectándolo a una fuente de energía de reserva, tal como un UPS o generador.

Si una operación anormal se detecta, el sistema tiene una alerta audible incorporada para el anuncio y también se puede colocar el equipo conectado en el modo de protección hasta que la anomalía se ha corregido. También se puede pulsar un botón y simular lo que sucede cuando un rayo se detecta y probar la función de protección. Además, hay indicadores LED que permiten ver que el sistema está en funcionamiento y para indicar que el circuito de protección del equipo ha sido activado. El equipo se muestra en la figura 40.



Figura 40 Detector de descargas atmosféricas Rabun EPS1000.

Existen en la actualidad diversos tipos de detectores de tormentas un modelo que serviría para el uso en las estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional es desarrollado por la compañía Boltek, el cual tiene la característica de detectar las señales de radio de baja frecuencia producidas por la descarga eléctrica de un rayo. Esta señal es el “ruido” que se escucha en una radio A.M. convencional. Estas señales viajan por varios kilómetros y son detectados por la antena del equipo modelo Storm Tracker. Dicho equipo utiliza una antena que explora el horizonte buscando la dirección de una señal en este caso la del rayo y puede determinar la dirección de este, dependiendo de la intensidad de la señal también calcula la distancia aproximada del mismo; también podemos adquirir el software de esta compañía con el cual podemos ver gráficamente la localización de una tormenta y los rayos si es que están presentes. El equipo y una gráfica de tormenta se muestran a continuación (figura 41).



Figura 41 Detector y gráfica de tormentas de equipo Boltek.

Esta manera de detección de tormentas no es nueva ya que desde el siglo 19 se usa este principio; Alexander Stepanovich Popov cuenta de que era posible detectar un rayo mediante un sencillo receptor A.M. de radio, lo que fue el primer sistema eléctrico capaz de predecir una tormenta. Fue capaz de oír la señal producida por un rayo usando un sistema simple con un amplificador, un mezclador y un filtro paso bajas.

Una tecnología similar se encuentra todavía en uso hoy en día en los detectores de rayos personales lo cuales pueden bajo ciertas condiciones detectar un rayo dentro de un área

pequeña, aunque también tienden a emitir falsas alarmas que se activan de diversas maneras como con hornos de microondas, balastos fluorescentes, motores, motores de automóviles, y los flashes de una cámara.

En términos de análisis electromagnético, las enormes corrientes generadas por las tormentas producen señales contenidas en un amplio espectro. Los experimentos de Popov demostraron que un sistema de banda reducida puede recoger las señales de los rayos.

Un rayo es una combinación compleja de elementos electromagnéticos, con esto, en la "Revisión de las mediciones del espectro de RF de radiación de rayos" (Meteorología y Física Atmosférica, vol. 37, No. 3, 1987) DM LeVine estableció que es posible detectar un rayo con un sistema de banda reducida, incluso si algún detalle en la forma de la señal se pierde.

La figura 42 muestra la comparación de banda ancha y de banda reducida de la señal del mismo rayo y muestra que a 500 kHz, los datos de banda reducida puede proporcionar la información necesaria para identificar una tormenta eléctrica.

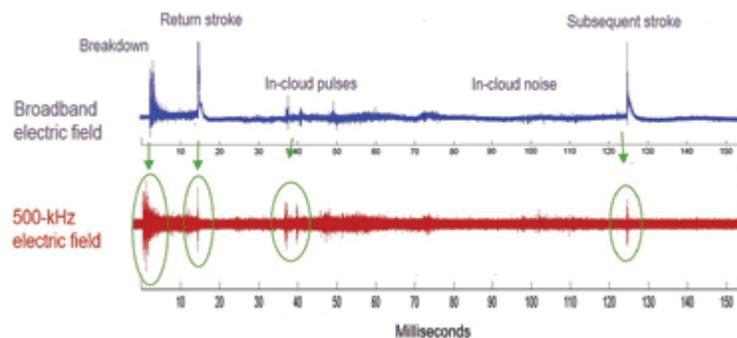


Figura 42 Gráfica de banda reducida.

La clave para proporcionar este tipo de datos está en el uso de la coincidencia de patrón algorítmico, llevado a cabo en tiempo real. En un sensor de rayo de un solo chip (ver el recuadro "sensor de rayo"), un algoritmo integrado en el hardware es el que se encarga de analizar una señal detectada por una antena externa y determina su naturaleza.

El primer algoritmo analiza la señal para determinar si tiene las características de un rayo, si no tiene dichas características, el sensor lo identifica como una perturbación hecha por el hombre, lo que minimiza las falsas alarmas. Cuando una señal de rayo se detecta, el sensor calcula entonces la distancia estimada a la tormenta. Esta información puede ser proporcionada al usuario a través de una pantalla LCD, LEDs múltiples, audio, o por otros medios que los diseñadores conciben.

El AS3935 Franklin Rayo Sensor IC es el primer chip sensor de rayos (fig. 43), también es un receptor de RF altamente integrados con numerosas funciones especializadas, incluido el ajuste automático de antena y un sofisticado algoritmo que puede detectar rayos. El sensor también ofrece estimación de distancia, lo que ayuda a identificar tormentas eléctricas antes de que el sentido humano lo perciba.

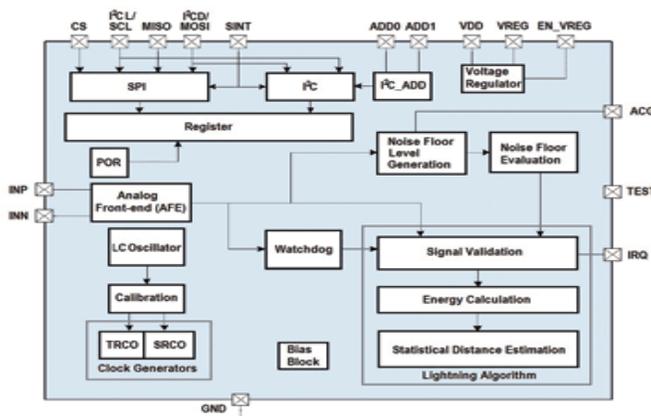


Figura 43 Sensor de rayo.

Como se ve en el diagrama de bloques anterior, las señales recibidas de una antena externa se introducen directamente en la entrada analógica (AFE), donde se amplifican y demodula el circuito que monitorea continuamente la salida de la AFE y alerta al bloque Lightning algorithm integrado en el caso de una señal entrante.

El bloque de Lightning algorithm valida la señal mediante la comprobación del patrón entrante y la determinación de la energía de ésta. El bloque puede distinguir entre la señal de rayos y perturbaciones hechas por el hombre, las clasifica y el sistema vuelve automáticamente al modo de espera para minimizar el consumo de corriente. Si la señal entrante se identifica como procedente de un rayo, entonces el bloque estimador de distancia hace sus cálculos para determinar dónde está la tormenta en un tiempo de 2ms.

El AS3935 utiliza poca energía la cual va en un rango de 2.4 a 5.5 Volts con un consumo de corriente de sólo 60 µA en modo de espera.

Su alta integración permite el uso de este chip en objetos muy pequeños como en el broche de una cadena, dijes, relojes, teléfonos móviles, GPS, localizadores de peces y otros dispositivos portátiles. El chip también puede ser utilizado en corriente alterna, equipos que se utilizan en las redes inteligentes, estaciones base, dispositivos UPS, y muchos otros tipos de equipos cuyo funcionamiento puede beneficiarse de la capacidad de prepararse para las condiciones climáticas adversas.

Conclusiones y recomendaciones

Una vez hecho el análisis de la situación, podemos decir que se han previsto y llevado a cabo las protecciones eléctricas que se necesitan para asegurar un óptimo funcionamiento en las estaciones de banda ancha del SSN.

Esto se ha logrado haciendo una investigación a fondo de las diferentes tecnologías que se tienen hoy en día y aplicándolas directamente a las necesidades de nuestro caso.

Se han escogido este tipo de protecciones tomado en cuenta el costo y el beneficio que se obtendrá de ellas instalando cada protección donde corresponda haciendo a una estación un sistema capaz de mantener su funcionamiento ante las eventualidades más comunes de las que se han visto en la práctica, una vez hecho esto podemos asegurar que los instrumentos propios de una estación harán su función principal que es detectar movimientos sísmicos en tiempo real, almacenarlos y transmitirlos para su interpretación, todo esto se hará sin importar las condiciones ambientales incluso durante o después de una falla eléctrica, la cual es el objetivo de este documento.

Es importante destacar que el costo de los equipos usados para proteger una estación es muy inferior al costo de la instrumentación sísmica contenida en ella, además de ser de fácil adquisición, es decir, es más costoso reemplazar cualquier equipo de las protecciones que comprar o reparar algún instrumento sísmico como un acelerómetro, un sensor de velocidad o un digitalizador ya que en una avería de estos representan gastos de transportación, gastos de aduana, pagar horas hombre para que un especialista los revise y encuentre la falla, etc.

Pensando en lo anterior se diseñó un conjunto de protecciones que al funcionar en conjunto se han minimizado las bajas de algún instrumento por falla eléctrica llámese corto circuito, descarga atmosférica o algún otro caso de los que anteriormente se han tratado en este escrito.

Este conjunto de protecciones es funcional en la actualidad y se encuentra instalado en todas y cada una de las estaciones sismológicas de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional, sin lugar a dudas es de lo mejor que hay hoy en día, sin perder de vista que el

presupuesto del Instituto es limitado; sin embargo en el futuro este diseño podrá mejorarse gracias a los adelantos tecnológicos y a la accesibilidad de costos en equipos y materiales.

Por otra parte podemos resaltar que para la realización de cualquier proyecto o desarrollo en el ámbito de la ingeniería se deben apegar a las normas que le correspondan ya sean nacionales o internacionales, para estar preparados ante esta situación se debería crear una materia que enseñara las bases de toda normatividad para aplicaciones futuras. O de manera alternativa, se podría dedicar un capítulo en el temario de varias materias haciendo referencia a la normatividad y de esa manera estar lo más actualizado posible en cuanto al tema se refiere.

Switch industrial internet ADAM6520.

ADAM-6520 Series

5-port 10/100 Mbps Industrial Ethernet Switches



Features

- Supports full/half duplex flow control
- Supports MDI/MDI-X auto crossover
- Provides broadcast storm protection
- Embedded with a switch controller, supports auto-negotiation
- Supports +10 - 30 V_{DC} voltage power input
- Provides surge (EFT) protection 3,000 V_{DC} for power line (ADAM-6520L not equipped)
- Supports 4,000 V_{DC} Ethernet ESD protection (ADAM-6520L not equipped)
- Provides flexible mounting: DIN-rail, Wall, Stack
- Supports wide operating temperature range : -40 - 65° C (ADAM-6520I)

Introduction

ADAM-6520 is a 5-port industrial-grade switch with Ethernet connectivity and from 10 to 100 Mbps transfer rates. (Auto-negotiation). Just like any other product in the ADAM family, ADAM-6520 can be mounted in three different ways: DIN rail, Wall and Stack. Solid industrial-grade design assures reliable operation in common application areas like: semi-conductor factories, inventory control environments, assembly lines, manufacturing and many more.

All modules support a wide voltage range of +10 - 30 V_{DC} over the terminal block, and 3,000 V_{DC} surge (EFT) protection ensures that over-voltage is no concern. The wide operating temperature of ADAM-6520 goes from -10 - 70°, while ADAM-6520I from -40 - 65°. This permits them to be functional in harsh environments.

The six inclusive LED indicators make troubleshooting of the modules easier. Each port has a pair of LEDs that indicate link status and port activities. This easily informs users of any collisions, the link status, power failure and data receipts for immediate on-site diagnosis.

Specifications

Communications

- **Standard** IEEE 802.3, 802.3u, 802.3x
- **LAN** 10/100Base-TX
- **Transmission Distance** Up to 100 m
- **Transmission Speed** Up to 100Mbps

Interface

- **Connectors** 5 x RJ-45
2-pin removable screw terminal (power)
- **LED Indicators** Power, Link/Speed

Power

- **Power Consumption** ADAM-6520L: Max. 3W
ADAM-6520/6520I: Max. 2.4 W
- **Power Input** 1 x Unregulated 10 - 30 V_{DC}

Mechanism

- **Dimensions (W x H x D)** 70 x 102 x 27 mm
- **Enclosure** IP30, ABS+PC with solid mounting kits
- **Mounting** DIN 35 rail, Wall, Stack

Protection

- **ESD (Ethernet)** 4,000 V_{DC} (ADAM-6520L not equipped)
- **Surge (EFT for power)** 3,000 V_{DC} (ADAM-6520L not equipped)

Environment

- **Operating Temperature**
ADAM-6520 : -10 - 70° C (14 - 158° F), Stack : -10 - 60° C (14 - 140° F)
ADAM-6520L : 0 - 60° C (32 - 140° F), Stack : 0 - 50° C (32 - 122° F)
ADAM-6520I : -40 - 65° C (-40 - 185° F), Stack : -40 - 75° C (-40 - 167° F)
- **Storage Temperature**
ADAM-6520 : -20 - 80° C (-4 - 176° F)
ADAM-6520L : -10 - 70° C (14 - 158° F)
ADAM-6520I : -50 - 95° C (-58 - 203° F)
- **Operating Humidity** 20 - 95 % (non-condensing)
- **Storing Humidity** 0 - 95 % (non-condensing)
- **MTBF** 1,580,000 hrs

Certifications

- **Safety** UL 60950-1, CAN/CSA-C22.2 No. 60950
- **EMC** U.S.A.: FCC Part 15 CISPR 22
EU: EN55011, EN61000-6-4
EN55022 Class A,
EN61000-3-2/3
EN55024,
IEC61000-4-2/3/4/5/6/8/11
EN61000-6-2

Ordering Information

- **ADAM-6520** 5-port 10/100 Mbps Industrial Ethernet Switch
- **ADAM-6520L** 5-port 10/100 Mbps Industrial Unmanaged Ethernet Switch
- **ADAM-6520I** 5-port 10/100 Mbps Industrial Ethernet Switch w/Wide Operating Temperature

Sensor de aceleración KINEMATRICS FBA ES-T.

Type	Episensor ES-T
Manufacturer	Kinematics Inc.
Address	222 Vista Avenue, Pasadena, CA 91107, USA
Phone	++1 626 795 2220
E-mail	sales@kmi.com
Homepage	www.kinematics.com
Category	Force-balance broadband accelerometer
Flat response	acceleration DC to 200 Hz
Resolution: NLNM	not applicable (this is a strong-motion instrument)
within 10 dB of NLNM	n.a.
within 20 dB of NLNM	n.a.
Operating range	user selectable, ± 0.25 g to ± 4 g
Generator constant	user selectable, order of $1 \text{ V s}^2 / \text{m}$
Output	± 2.5 volt single-ended to ± 20 volt differential
Weight	2 kg
Size	13 cm dia., 6 cm high
Power	± 12 V or single 12 V, 0.15 to 0.4 W (depending on option)
Manual control	Centering; set gain
Remote control	-
Remote diagnostic	-
Accessories	-
Typical installation	Anywhere: Strong-motion monitoring, seismic zonation
Data sheet	http://www.kinematics.com/p-87-EpiSensor-ES-T.aspx
Remarks	This is a modern and popular strong-motion sensor. Its large dynamic range overlaps considerably with that of high-sensitivity seismometers, making it possible to record microearthquakes and teleseisms with this instrument.

QUANTERRA Q330

LOW-POWER HIGH RESOLUTION NETWORK-AWARE SEISMIC SYSTEM



General Description

The Q330 is an advanced 3 or 6 channel broad-band, high resolution seismic system incorporating Quanterra's proven IP networking technology into a very low-power field package. The Q330 uses Quanterra's exclusive patented (US Patent 4866442, Japan Patent 2787445, others pending) ultra-low-power delta-sigma 24-bit A/D with DSP, and includes 8Mb RAM, GPS receiver, power management, sensor command/control, and an advanced telemetry application for reliable data delivery.

Telemetry...



...and Local Recording



The Q330 supports real-time data telemetry to a central site or connection via hard-wire or radio (burst or continuous) to a local low-power recording system, or both simultaneously.

Low! Power

Incorporating the latest low-power technology, the Q330 achieves integrated capability with an average power requirement of <0.75 W, including recorder & GPS!

Internet-Ready Industry Standards

The telemetry protocols uses industry standard stateless IP communications, enabling the use of off-the-shelf IP equipment and service providers. Serial IP and Ethernet 10BaseT are built-in.

Comprehensive Sensor Control

The Q330 is a seismological instrument, not a digitizer alone. Sensor control interface, including calibration, and sensor identification-tag support is built in.

Streamlined Remote Administration

The Q330 is designed for simple network maintenance and administration, before, during, and after deployment. Internet security is built-in.

Specifications

Specification	Description
Channels	3 or 6-channel
Dynamic Range	132-135 dB wideband RMS typical. Typical band-limited 136 dB
Format	32-bit integer, Level 2 compressed 1-second packets
Input Range	40V P-P at gain=1
Gain	Selectable per channel: 1.30
Filtering	Linear or Minimum Phase FIR.
Sample Rate	200, 100, 50, 40, 20, 10, 1 Other rates available.
Time Base	Precision TCXO, locked to GPS. No adjustment.
DSP/CPU	ADSP-2189M
Telemetry	Full Duplex, efficient positive acknowledge with error control. UDP/IP over serial and Ethernet. Burst or continuous. Operates with major application software.
Temperature	Fully specified -20 to +50C Operative -40 to +70C
Sensor Control	Calibrate step, sine, or random. Recenter, on-command
Operational Data	Temp, DC voltage, GPS status, Sensor boom position (6 chan)
Memory	8Mb RAM standard
Network	IEEE 802.10Base-T Ethernet UDP/IP Protocol Stack
Serial Ports	2 serial telemetry and 1 console ports up to 115kbaud.
Wireless	IrDA interface supported.
Power	<0.6 W avg. 12VDC 3-channel <0.8 W avg. 12VDC 6-channel
Physical	Sealed, Aluminum. 14 X 4 X 6 in., 8 lbs., Rubber endcaps, Externally visible status and fault indicators.

Q330 - QUANTERRA, INC. – 325 Ayer Rd – Harvard MA, USA 978-772-4774

PRELIMINARY SPECIFICATIONS, SUBJECT TO CHANGE

Rev K.

Cálculos complementarios

De las hojas de especificaciones de cada instrumento podemos tomar sus características de operación y realizar los siguientes cálculos:

Para el sensor de velocidad STS-2 tenemos que $P_s = 2$ [W]

Para el sensor de aceleración Episensor FBA

$$P_e = (12 \text{ [V]})(0.035 \text{ [A]})$$
$$P_e = 0.42 \text{ [W]}$$

Para el Quanterra Q330 $P_q = 2.5$ [W]

Para el switch industrial Adam $P_a = 2.5$ [W]

Calculando el consumo en Watts de los instrumentos se tiene que:

$$P_{\text{Total}} = P_s + P_e + P_q + P_a$$

Sustituyendo los valores calculados anteriormente:

$$P_{\text{Total}} = 2 + 0.42 + 2.5 + 2.5$$
$$P_{\text{Total}} = 7.42 \text{ [W]}$$

Tomando en cuenta la energía de la batería es:

$$P_b = (12 \text{ [V]} * 200 \text{ [A*h]})$$
$$P_b = 2400 \text{ [V*A*h]}$$
$$P_b = 2400 \text{ [W*h]}$$

Ahora bien, si calculamos el suministro S (medido en horas) tenemos:

$$S = \frac{P_b}{P_{\text{TOTAL}}}$$

Sustituyendo valores vemos que:

$$S = \frac{2400 \text{ [W * h]}}{7.42 \text{ [W]}}$$

$$S = 325.45 \text{ [h]}$$

Debemos tomar en cuenta que el consumo de energía de los instrumentos al reiniciarse o arrancar de nuevo ante alguna situación es alrededor del 30% será:

$$P_{\text{Total}} = 7.42 - (7.42 * 0.30) \text{ [W]}$$
$$P_{\text{Total}} = 5.19 \text{ [W]}$$

$$P_b = 2400 \text{ [W]} - (2400 * 0.30)$$
$$P_b = 1680 \text{ [W]}$$

Tomando en cuenta estos valores podemos calcular un suministro real como sigue:

$$S = \frac{1680 \text{ [W*h]}}{5.19 \text{ [W]}} \rightarrow S = 323.7 \text{ [h]}$$

Este resultado representa el tiempo de autonomía de una estación sismológica.

Apéndice 2

Instrumentos alternos usados en las estaciones de banda ancha del SSN

Trillium 120

Type	Trillium 120 P / PA
Manufacturer	Nanometrics Inc.
Address	250 Herzberg Road, Kanata, Ontario, Canada K2K 2A1
Phone	++1 613 592 6776
E-mail	info@nanometrics.ca
Homepage	http://www.nanometrics.ca/
Category	Force-balance VBB, symmetric-triaxial
Flat response	velocity 83 mHz (120 s) to 145 Hz
Resolution: NLNM	25 mHz to 12 Hz*
within 10 dB of NLNM	4 mHz to 20 Hz*
within 20 dB of NLNM	<0.3 mHz to 50 Hz*
Operating range	± 16 mm/s
Generator constant	1200 Vs/m
Output	differential, ±10 V per line
Weight	7.5 kg
Size	21 cm dia., 22 cm high
Power	9 to 36 volt, 0.62 watt
Manual control	centering (120P). No mass lock required. Motorized mass centering (120PA).
Remote control	centering, UVW/XYZ mode, short/long period mode, firmware updates
Remote diagnostic	mass positions, temperature, serial number, status
Accessories	-
Typical installation	all purpose
Data sheet	http://www.nanometrics.ca/products/trillium-120-ppa
Remarks	Large temperature range without re-centering (±45°). A posthole version with remote leveling is available.

* based on Ringler and Hutt (2010) and the manufacturer

Trillium 240

Type	Trillium 240
Manufacturer	Nanometrics Inc.
Address	250 Herzberg Road, Kanata, Ontario, Canada K2K 2A1
Phone	++1 613 592 6776
E-mail	info@nanometrics.ca
Homepage	http://www.nanometrics.ca/
Category	Force-balance VBB, symmetric-triaxial
Flat response	velocity 41.7 mHz (240 s) to 35 Hz
Resolution: NLNM	10 mHz to 10 Hz*
within 10 dB of NLNM	0.3 mHz to 20 Hz*
within 20 dB of NLNM	0.1 mHz to 35 Hz*
Operating range	± 16 mm/s
Generator constant	1200 Vs/m
Output	differential, ±10 volts per line
Weight	14 kg
Size	25 cm dia., 29 cm high
Power	9 to 36 volt, 0.65 watt
Manual control	none: no mass lock required
Remote control	integrated web browser with many control options
Remote diagnostic	Mass positions, temperature, serial number, status, calibration parameters
Accessories	prefabricated heat shield
Typical installation	observatory, vault.
Data sheet	http://www.nanometrics.ca/products/trillium-240
Remarks	An excellent very-broad-band seismometer, comparable to the STS2 in its performance. May be slightly better than the STS2 at the lowest frequencies when magnetically shielded. Has a modern digital control interface.
* based on Ringler and Hutt (2010) and the manufacturer	

Type	STS-1 VBB (out of production, see remarks below)
Manufacturer	Streckeisen AG
Address	Dättlikoner Str. 5, CH-8422 Pfungen, Switzerland
Phone	++41 52 315 2161
E-mail	none
Homepage	none
Category	Force-balance VBB, separate Z and H components
Flat response	velocity 2.67 mHz (360 sec) to 10 Hz
Resolution: NLNM	originally <0.3 mHz to 3 Hz, later versions up to 8 Hz*
within 10 dB of NLNM	0.1 mHz to 13 Hz*
within 20 dB of NLNM	<0.1 mHz to 20 Hz*
Operating range	± 8 mm/s
Generator constant	2400 Vs/m
Output	differential, ± 10 V per line
Weight	4 kg (vert.); 5.5 kg (hor.)
Size	12 * 17 * 18 cm (vert.); 20 cm dia. and 16 cm high (hor.) Shields require a space of 50 * 50 cm, 60 cm high.
Power	± 15 volts, 3.5 watts per component
Manual control	mass lock (pins and screws inserted by hand)
Remote control	mass centering, calibration
Remote diagnostic	mass position
Accessories	feedback electronics are separate. Magnetic shield (for vert. comp. only), aluminum shield, glass base plate, vacuum glass bell included. Monitor (breakout) box optional.
Typical installation	observatory
Data sheet	www.software-for-seismometry.de/textfiles/Seismometry/
Remarks	Operated under partial vacuum; no electronics inside the sensor. This seismometer made the very-broad-band velocity response popular, and is the only seismometer to resolve minimum ground noise throughout the long-period seismic band. (Some say it defines the low-noise model.) The STS1 is no longer manufactured by Streckeisen AG but Metrozet LLC (USA) have developed a modern, remotely controllable replacement for the feedback electronics and a modified mechanical sensor. The new system has the excellent low-frequency resolution of the original STS-1 but is easier to install and maintain.

* based on Ringler and Hutt (2010). Resolution above 10 Hz is extrapolated.

Specifications

CMG-40T



Velocity output bandwidth	<i>30 seconds – 50 Hertz (Standard) 1s, 2s, 10s or 60s long period options 100Hz high frequency option</i>
Velocity output sensitivity	<i>2 × 400 V/ms⁻² (Standard) Options for 2 × 1000 or 2 × 1600 V/ms⁻² Optional high-gain output (× 10)</i>
Peak output	<i>±10 V (20 V peak-to-peak)</i>
Optional high gain sensitivity	<i>2 × 10000 V/ms² (adjustable)</i>
Lowest spurious resonance	<i>450 Hz</i>
Linearity	<i>> 90 dB</i>
Cross-axis rejection	<i>> 65 dB</i>
Electronics noise level	<i>-172 dB (relative to 1m²s⁴Hz²)</i>
Operating temperature range	<i>-20 to +75 °C</i>
Temperature sensitivity	<i>< 0.6 V per 10 °C</i>
Mass recentring range	<i>±3 ° from horizontal</i>
Materials	<i>Stainless steel case Gold plated contacts O-ring seals throughout</i>
Case diameter	<i>154 mm</i>
Case height (with handle)	<i>207 mm</i>
Weight	<i>2.49 kg</i>
Power supply	<i>10 – 36 V DC</i>
Optional low power sensor	<i>5 V DC supply (output ±4.5 V)</i>
Current at 12 V DC	<i>38 mA</i>
Calibration controls	<i>Common signal & enable lines exposed on sensor connector</i>
Offset zeroing	<i>Adjustable through case</i>
Optional remote control	<i>Offset zeroing with DC motors</i>
Optional accessories	<i>Handheld Control Unit</i>



Guralp CMG -3T

Type	CMG-3T, CMG3-TB (borehole)
Manufacturer	Guralp Systems Limited
Address	3 Midas House, Calleva Park, Aldermaston, Reading RG7 8EA, UK
Phone	++44 118 9819056
E-mail	sales@guralp.com
Homepage	www.guralp.com
Category	Force-balance VBB, three-component
Flat response	velocity 8.33 mHz (120 s) to 50 Hz (others available)
Resolution: NLNM	30 mHz to 18 Hz*
within 10 dB of NLNM	5 mHz to 30 Hz*
within 20 dB of NLNM	3 mHz to 50 Hz*
Operating range	± 13 mm/s
Generator constant	1500 Vs/m (others available)
Output	differential, ± 10 V per line
Weight	14 kg
Size	17 cm dia., 34 cm high
Power	10 to 30 volts, 0.75 watts
Manual control	-
Remote control	mass lock, centering, calibration
Remote diagnostic	mass position
Accessories	control and breakout box
Typical installation	observatory, vault, and field use
Data sheet	http://www.guralp.com/products/3T/
Remarks	Tight thermal shielding recommended. Until recently the CMG-3T was one of the two most widely used broadband seismometers (the other one being the STS-2). The noise data are from the borehole version CMG-3TB.

* based on Ringler and Hutt (2010). Resolution above 10 Hz is extrapolated; data from the borehole version.

Type	REFTEK 151-120 “Observer”
Manufacturer	Refraction Technology, Inc.
Address	1600, 10th Street, Suite A, Plano TX 75074, USA
Phone	++1 214 440 1265
E-mail	Info@reftek.com
Homepage	http://www.reftek.com/
Category	Force-balance VBB, three components
Flat response	Velocity 8.3 mHz (120 s) to 50 Hz
Resolution: NLNM	8 mHz to 15 Hz*
within 10 dB of NLNM	3 mHz to 30 Hz*
within 20 dB of NLNM	0.4 mHz to 50 Hz*
Operating range	±10 mm/s
Generator constant	2000 Vs/m
Output	differential, ± 10 V per line
Weight	12 kg
Size	24 cm dia., 27 cm high
Power	9 to 18 volts, 1.3 watts
Manual control	mass lock
Remote control	centering
Remote diagnostic	mass position
Accessories	
Typical installation	observatory, vault
Data Sheet	http://www.reftek.com/pdf/151-120.pdf
Remarks	A very good VBB sensor, in the free-mode band comparable to KS-1 and CMG-3TB according to Ringler & Hutt, 2010.

* based on Ringler and Hutt (2010). Resolution above 10 Hz is extrapolated.

Sensor de aceleración KINEMATRICS FBA-23

.. GENERAL DESCRIPTION

The FBA-23 is a triaxial force balance accelerometer. It is packaged in a cast aluminum base with cover, and sealed to prevent the entrance of moisture and dirt. The three accelerometers are orthogonally mounted on an internal deck plate. Provision is made for applying electrical commands which result in outputting the damped and undamped response of the three accelerometers.

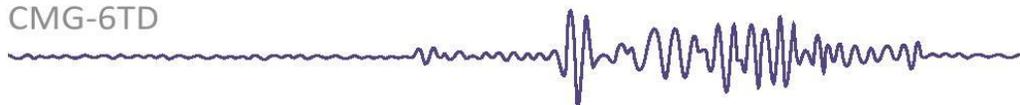
The nominal specifications are:

Full scale range	±1 g
Output	-/+ 2.5 volts dc
Natural frequency	50 Hz
Damping	.70 critical
Supply voltages	+ & - 12 Vdc

Polarity conventions are shown in drawing 105611. For Kinometrics' accelerometers, plus motion is defined as that motion which causes the mass to move toward the permanent magnet. Plus motion causes a negative voltage output from the accelerometer.

Specifications

CMG-6TD



Velocity output high corner	100 Hz
Velocity output low corner	30 s (optional 10 s)
Velocity output sensitivity	2 × 1200 V/m/s,
Lowest spurious resonance	450 Hz
Linearity	> 95 dB
Cross-axis rejection	> 60 dB
Electronics noise level	-147 dB (rel. 1m2s-4Hz-1)
Data output format	GCF over RS232, Firewire, Ethernet or Wi-Fi
Sample rates	1000 – 1 samples/s
Digitizer resolution at 1 sample/s	21 bits
Storage capacity	64 Mb internal Flash memory Options to 16 Gb
Operating temperature	-20 to +85 °C
Temperature sensitivity	< 0.6 V per 10 °C
Internal thermometer accuracy	±0.33 °C (30 °C), ±0.5 °C (10 °C to 50 °C), ±1.0 °C (-10 °C to 85 °C)
Mass recentring range	±3 ° from horizontal
Materials	Hard anodised aluminium case Gold plated contacts O-ring seals throughout
Case diameter	154 mm
Case height (excl. handle and feet)	153 mm
Weight	2.7 kg (entire system < 4.1 kg)
Power supply	10 – 36 V DC
Current at 12 V DC	65 mA (80 mA for 60 s sensor)
Calibration facilities	On board signal; generator: sine wave, impulse and broadband exposed on sensor connector
Offset zeroing	Adjustable through case
Optional remote control	Offset zeroing with DC motors



Índice de Figuras

Figura 1 Placas Tectónicas	6
Figura 2 Escala Mercalli	8
Figura 3 <i>Localización de los sismos más importantes en México</i>	9
Figura 4 <i>Sismos moderados y grandes en México, el catalogo del siglo XX</i>	11
Figura 5 Primeras estaciones autónomas del SSN.....	12
Figura 6 Primeras estaciones y Sismógrafo Wiechert de 17 Toneladas en la estación central	13
Figura 7 Sismógrafos electromagnéticos	14
Figura 8 Red del Valle de México	19
Figura 9 Sismógrafo GEOS de periodo corto.....	20
Figura 10 Sismómetro Guralp CMG-6TD.....	20
Figura 11 Red de las delegaciones del Distrito Federal	21
Figura 12 Estación de la red del Valle de México y sismógrafo Reftek.....	21
Figura 13 Distribución de las estaciones de la Red Sismológica de Banda Ancha	22
Figura 14 Sensores sísmicos STS-2 y FBA-23 de la estación de Tuxtla Gutiérrez Chis.	24
Figura 15 Registrador-digitalizador Quanterra Q330S.....	24
Figura 16 Caseta de una estación.....	26
Figura 17 Cuarto de Sensores con sus protecciones electromagnéticas y térmicas.	27
Figura 18 Fusibles e interruptores termomagnéticos.....	30
Figura 19 Sobretensión conducida.....	32
Figura 20 Sobretensión inducida.....	32
Figura 21 Aumento del potencial de tierra.	33
Figura 22 Supresores de picos.	36
Figura 23 Sistema de Tierra Física	37
Figura 24 Barra de Tierras de Telecomunicaciones.	39
Figura 25 Puntas de pararrayos.....	40
Figura 26 Protección contra descargas atmosféricas	41
Figura 27 Puesta a Tierra aislada.....	43
Figura 28 Sistema de tierra de referencia de señal.....	44
Figura 29 Electrodo de Copperweld.....	45
Figura 30 Método de la Esfera Rodante (Figura A.2 de la NMX-J-549-ANCE-2005.).....	48
Figura 31 Pararrayos y jaula de Faraday en un edificio	49
Figura 32 Resistividad del terreno.....	51
Figura 33 Megger	52
Figura 34 Método Wenner	54
Figura 35 Método del 62%.....	56
Figura 36 Bulto de GEM.....	59
Figura 37 Algunos tipos de fusibles.	61
Figura 38 Fusibles de vidrio.	62
Figura 39 Otros tipos de fusibles.....	62
Figura 40 Detector de descargas atmosféricas Rabun EPS1000.....	67
Figura 41 Detector y grafica de tormentas de equipo Boltek.....	68
Figura 42 Gráfica de banda reducida.	69
Figura 43 Sensor de rayo.	70

FUENTES DE INFORMACION Y REFERENCIAS

- <http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/~vladimir/sismos/100a%F1os.html>
por Dr. Vladimir Kostoglodov y Dr. Javier Francisco Pacheco
- <http://www.ssn.unam.mx/>
- <http://www.tierrafisica.com.mx/>
- <http://www.polyphaser.com/>
- <http://www.omnicom.com.mx/>
- <http://www.transtector.com/ProductData?class=acem>
- <http://electricidad-viatger.blogspot.com/2008/05/fusibles.html>
- <http://www.glosariosismologico.com/>
- <http://www.smis.org.mx/htm/sismos.htm>
- <http://www.cinysa.com>
- <http://www.boltek.com>
- http://www2.electronicproducts.com/Designing_truly_portable_lightning_detectors-article-farc_ams_nov2012-html
- http://www.industronic.com.mx/reguladores?gclid=CJeWv8y4_7QCFcKPPAod92kAvQ