

PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS EN ESTACIONES DE TELEMEDICION

Ing. Daniel Victor Brudnick
TRANSPORTADORA DE GAS DEL SUR S.A.
daniel_brudnick@tgs.com.ar

1. RESUMEN

Se presenta la metodología para implementar un adecuado SPCDE (Sistema de Protección Contra Descargas Eléctricas) producidas por fenómenos atmosféricos, con el objeto de reducir los riesgos de daño a las personas y a las instalaciones de ETM (Estaciones de Telemedición).

Se destaca la importancia de adoptar medidas que aseguren una mayor confiabilidad operativa de las ETM de gas natural, teniendo en cuenta los siguientes factores de riesgo:

- poseen dispositivos y equipos electrónicos sensibles a las interferencias
- su funcionalidad es continua y muy importante para el negocio
- se sitúan a la intemperie en áreas remotas e inhóspitas
- existe peligro de incendio, explosión y contaminación ambiental
- el transporte de gas es un servicio público regulado no interrumpible
- se evidencia un notable incremento de las tormentas eléctricas en la región

Se describen los criterios básicos de diseño e instalación de los SPCDE para resguardar los dispositivos y equipos de instrumentación y control, utilizados en ETM asociados al SCADA (Sistema de Telesupervisión y Control).

Se analizan las causas que originan los fenómenos naturales y los efectos que producen sobre los equipos instalados, presentando recomendaciones que minimizan las diferencias de potencial (DDP) y reducen las interferencias originadas por las descargas eléctricas directas (impactos de rayos) e indirectas (inducidas o acopladas en cañerías, líneas de energía, transmisión de datos, señalización y comunicación).

Se describen las técnicas usadas para la protección externa de estructuras e instalaciones: captosres, bajadas y puesta a tierra, como así también para la protección interna del equipamiento electrónico que presta servicio: supresores, aisladores, descargadores, blindajes y equipotenciación. Basándose siempre en las normativas y las experiencias recogidas en diversas etapas: desarrollo de ingeniería, selección y adquisición de materiales, contratación de servicios, supervisión de obras, inspección y mantenimiento de instalaciones.

Se recomiendan normas y prácticas de aplicación, analizando también aspectos de compatibilidad entre los sistemas de PAT (Puesta a Tierra), SI (Seguridad Intrínseca) y PC (Potencial Catódico). Por último se presentan conceptos educativos sobre las medidas de seguridad que deben adoptar las personas que operan y mantienen las ETM, incluyendo conclusiones, referencias bibliográficas y normativas.

2. INTRODUCCION

Las ETM poseen equipos electrónicos sensibles: PLC (Controlador Lógico Programable), RTU (Unidad Remota), FC (Computador de Flujo), UM (Medidor Ultrasónico), GC (Cromatógrafo de Gas), etc. que adquieren, procesan, almacenan y transmiten datos.

Todos ellos operan con bajos niveles de señal y son susceptibles de ser dañados o interferidos por las descargas eléctricas generadas por la actividad atmosférica: electricidad estática, relámpagos y rayos.

Los SPCDE resultan eficaces siempre y cuando estén debidamente diseñados, instalados y mantenidos. Estos sistemas se componen de protecciones externas (captadores de rayos, cables de bajada y puesta a tierra de pararrayos) y protecciones internas (supresores de transitorios, vías de chispa y aisladores galvánicos).

Las protecciones externas captan los rayos en sitios preferidos y conocidos, conduciendo las descargas en forma segura para disipar la energía a tierra lo más rápido posible. Las protecciones internas limitan tensiones y corrientes, separan y aíslan circuitos eléctricos, reduciendo las interferencias y perturbaciones captadas por los dispositivos y circuitos electrónicos sensibles.

Desde el punto de vista de la ECM (Compatibilidad Electromagnética) los equipos electrónicos sensibles a su vez deben ser capaces de operar adecuadamente, limitando la captación y la emisión de las EMI (Interferencias Electromagnéticas) naturales y artificiales.

3. DESCARGAS ATMOSFERICAS

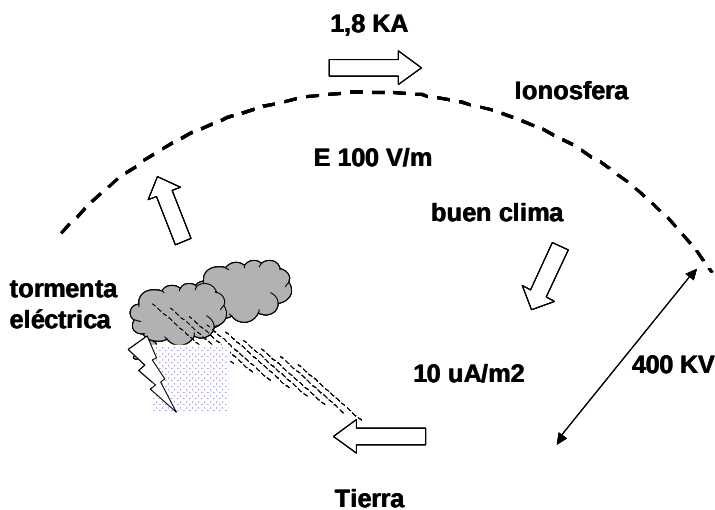
Antes de describir las técnicas recomendadas para concebir un adecuado SPCDE, se darán conceptos básicos sobre las características y los efectos de las descargas atmosféricas. Se hace notar que las magnitudes de los parámetros informados a continuación corresponden a valores promedio típicos.

3.1 Características de las Descargas Atmosféricas

Análisis científicos, experiencias de campo y de laboratorio fundamentan los fenómenos y las magnitudes asociadas a la descargas atmosféricas, considerando que los rayos constituyen fuertes ESD (Descargas de Electricidad Estática).

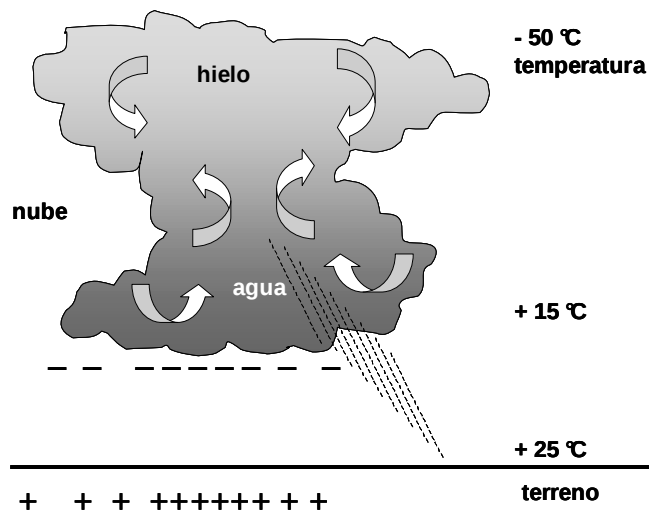
El calentamiento de la tierra por el sol produce zonas de aire con diferentes temperaturas. Las corrientes ascendentes del aire húmedo caliente forman nubes o células de tormenta eléctrica (cumulonimbus) que tienen un determinado ciclo de vida. En la fase de madurez, los hidrometeoros (agua, hielo, nieve y vapor dentro de la nube) interaccionan con las fuerzas gravitacionales y convectivas generando cargas eléctricas.

Fig. 1 - Potencial Eléctrico Global Terrestre



La atmósfera terrestre constituye un medio aislante situado entre dos capas conductoras, la superficie terrestre y la ionosfera. Las cargas generadas por las nubes de tormenta cargan el capacitor formado por estas capas con una DDP de 400 KV . Luego, para mantener en equilibrio el circuito eléctrico global, se liberan cargas iónicas bajo la forma de rayos, lluvias y granizo.

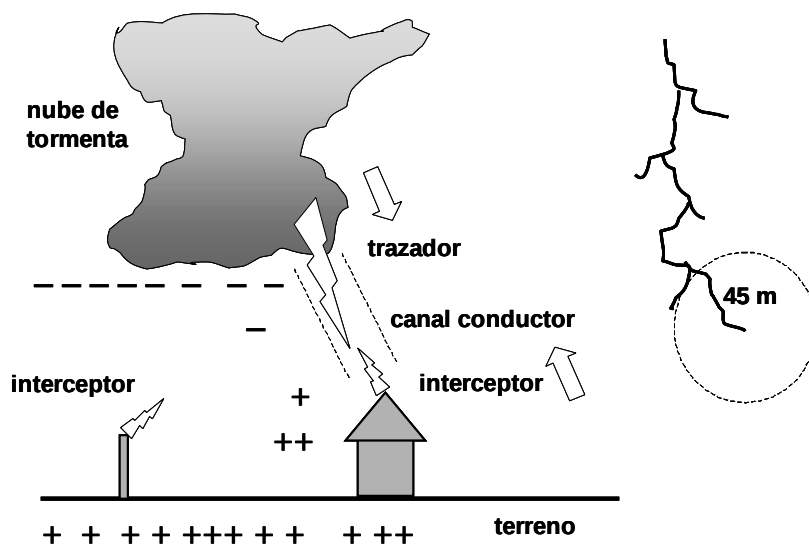
Fig. 2 - Formación de Cargas Electrostáticas ESD



El rayo es un fenómeno natural complejo, aleatorio, caprichoso, estocástico e imprevisible, resultando imposible reproducir su comportamiento real en laboratorio, como también controlar o impedir su formación.

El rayo se comporta como una fuente de corriente con forma de impulso, de valor pico 18 KA y tiempo de crecimiento $2\text{ }\mu\text{s}$, lo cual denota un contenido armónico de alta frecuencia en su espectro. Por esa razón los circuitos del SPCR (Sistema de Protección contra Rayos) se analizan como líneas de transmisión, aplicando la teoría de propagación de ondas electromagnéticas. Considerando en su diseño las impedancias y el efecto pelicular, en lugar de la resistencia y la conducción de corriente de bajas frecuencias.

Fig. 3 - Descargas de Rayos



El mecanismo de la descarga del rayo tiene la siguiente secuencia de formación y extinción:

a - cuando el campo eléctrico excede la rigidez dieléctrica de la atmósfera bajo la nube de tormenta, se ionizan las moléculas de aire generando el trazador descendente oscuro o guía escalonada (líder) que viaja hacia la tierra a pasos discretos de 45 m. En el 85 % de los casos las cargas descendentes son negativas.

b- como una sombra bajo la nube, las cargas de signo opuesto en la tierra se acumulan en los puntos salientes y elevados, emitiendo trazadores ascendentes (interceptores) que compiten entre si para alcanzar al líder.

c- cuando el líder se conecta con algunos de los interceptores, se cierra el circuito produciéndose la descarga principal (rayo) dentro del canal plasmático formado.

d- una vez cerrado el circuito, por el mismo canal se producen una serie de descargas sucesivas (retornos) de menor corriente que tienden a neutralizar las cargas nube-tierra. Estas múltiples descargas presentan el aspecto visual destellante característico del rayo.

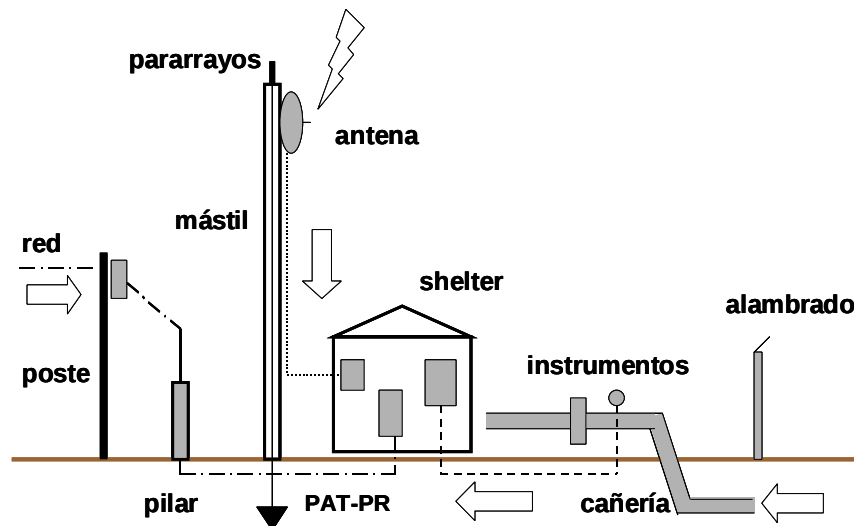
El calentamiento de la atmósfera producido por la intensa corriente de las descargas, producen violentas expansiones del aire provocando las ondas de choque audibles (trueno).

3.2 Efectos de las Descargas Atmosféricas

Básicamente la energía generada por la descarga atmosféricas presentan dos tipos de efecto sobre las instalaciones:

- Primarios debidos a descargas directas que son más intensos y catastróficos, provocando: incendios, explosiones, daños estructurales, pérdidas de sustancias, lesiones a personas y animales.
- Secundarios por acoplamiento e inducción electromagnética, generando: fallas en componentes y circuitos, interferencias, pérdida de información, imposibilidad de controlar y monitorear variables.

Fig. 4 - Descargas sobre una Estación de Telemedición ETM



Las descargas atmosféricas que inciden directamente sobre las estructuras metálicas, producen altas corrientes de derivación a tierra que generan peligrosas DDP, generando arcos voltaicos, calentamiento y esfuerzos mecánicos. La energía de la descarga busca su propio camino para alcanzar la tierra, circulando por los circuitos de alimentación, señal y comunicaciones. A consecuencia las corrientes y tensiones superan los valores nominales de operación y aislación de diseño.

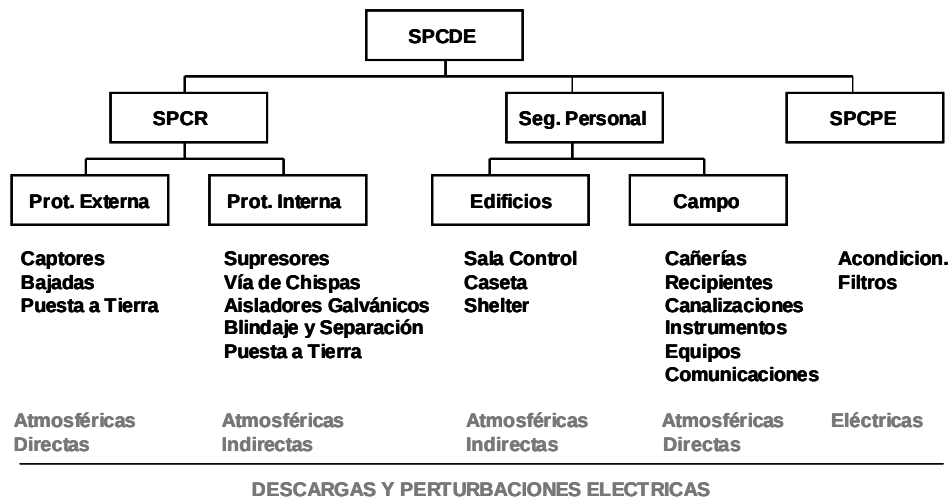
Las protecciones secundarias disminuyen la probabilidad de daños al equipamiento, pero no reducen el riesgo de una explosión en las áreas peligrosas (Zona Ex), donde puede existir la presencia de una mezcla gas-aire con proporciones explosivas. La única medida de protección válida para reducir al mínimo este riesgo, es establecer una correcta equipotenciación de las masas.

Si bien forma parte del SPCDE el tratamiento de las fallas-microcortes-armónicos presentes en la red de energía mediante un SPCPE (Sistema de Protección contra Perturbaciones Eléctricas) para acondicionar y filtrar las interferencias debidas a la conmutación de líneas-generadores-cargas reactivas, iluminación fluorescente y de descarga, soldadoras por arco, variadores de velocidad, hornos de inducción, fuentes conmutadas, inversores, etc. no se contemplan en este trabajo.

4. SISTEMAS DE PROTECCION

La planificación de un SPCDE integral además de incluir el SPCR y el SPCE tiene en cuenta la seguridad del personal, capacitándolo para que conozca los sistemas instalados y adopte prácticas seguras durante la operación y el mantenimiento de las ETM.

Fig. 5 - Sistema Integral para Protección de Descargas Eléctricas



4.1 Protección Externa

Las protecciones externas se diseñan teniendo en cuenta el grado de eficiencia requerido para proteger la instalación, la densidad ceráunica anual media en la región (número de días con tormentas eléctricas) y las frecuencias anuales de descargas esperada-aceptada, considerando los factores de riesgo que aplican.

En la Argentina se emplea la recomendación IEC-IRAM 62305 (actualización de la Europea IEC 61024 equivalente a la Americana NFPA 780) que posee cinco partes: principios generales, manejo de riesgos, daños físicos a estructuras, sistemas eléctricos-electrónicos y servicios. La descripción de las teorías de protección (cono, esfera ficticia rodante, volumen de colección e interacción de trazadores), como la metodología y el cálculo del SPCR, quedan fuera del alcance del presente trabajo.

No obstante, mencionaremos que en el modelo electrogeométrico, la distancia que determina el punto de encuentro de los trazadores es el radio R de la esfera ficticia rodante, que centrada en el extremo del líder va acompañando su descenso hacia la tierra. Con una corriente pico I del primer retorno expresada en KA, el radio R en m resulta de la ecuación:

$$R = 10 \cdot (I)^{2/3}$$

Según IEC 62305 a partir de datos estadísticos para $I = 10 \text{ KA}$ resulta $R = 45 \text{ m}$ en correspondencia con un nivel de protección III con eficiencia $E = 0,90$. Luego esta cobertura se puede lograr con un pararrayos Franklin a $H = 30 \text{ m}$ con ángulo de 35° o una malla de Faraday de $15 \times 15 \text{ m}$.

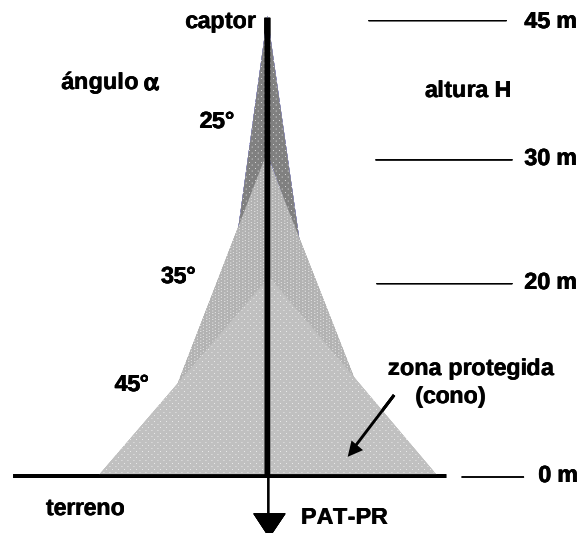
Fig. 6 – Eficiencia de Protección contra Descarga de Rayos

Nivel de Protección IEC	Eficienc. E	Altura H	20	30	45	60	D máx. malla (m)
		Radio R	Angulo α Cono				
I	0,98	20 m	25°	*	*	*	5 x 5
II	0,95	30 m	35°	25°	*	*	10 x 10
III	0,90	45 m	45°	35°	25°	*	15 x 15
IV	0,80	60 m	55°	45°	35°	25°	20 x 20

4.1.1 Captores de Rayos

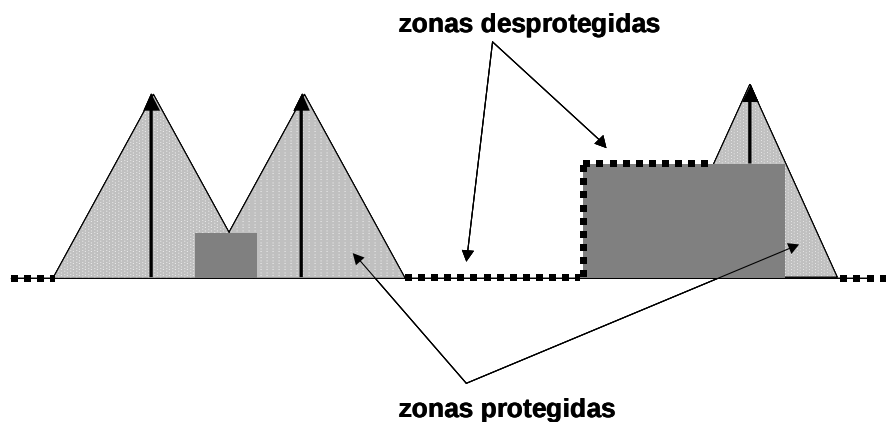
Como terminales aéreos generalmente se utilizan pararrayos convencionales pasivos de puntas (Franklin) montados sobre los mástiles de las antenas, hilos de guarda horizontales o mallas (Faraday) sobre las estructuras a proteger.

Fig. 7 – Pararrayos de Puntas Franklin



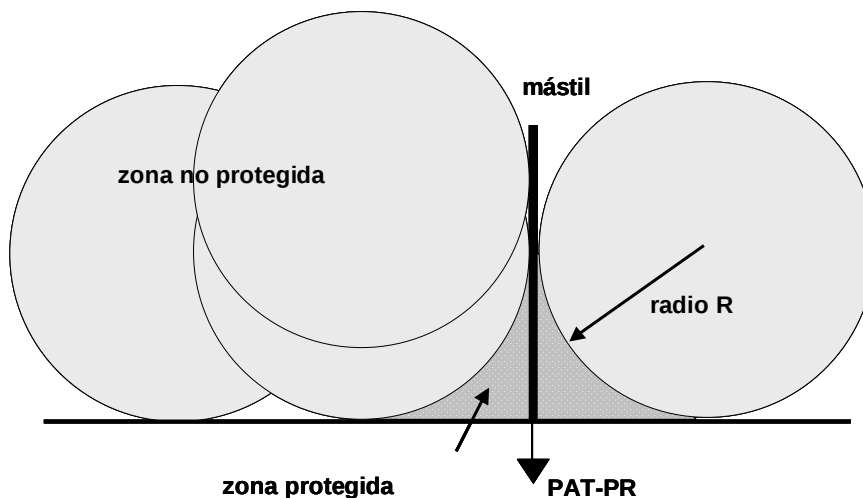
Los pararrayos no convencionales activos, como los ESE (Emisión Temprana) y los CTS (Transferencia de Carga) son comercializados sin tener un sustento científico validado.

Fig. 8 – Método Cono de Protección



Las cañerías o recipientes metálicos con paredes mayores de 4,8 mm conectados a tierra en dos puntos, se consideran captosres naturales, ya que pueden soportar impactos de rayos directos sin necesidad de contar con protecciones adicionales.

Fig. 9 - Método Electrogeométrico Esfera Rodante



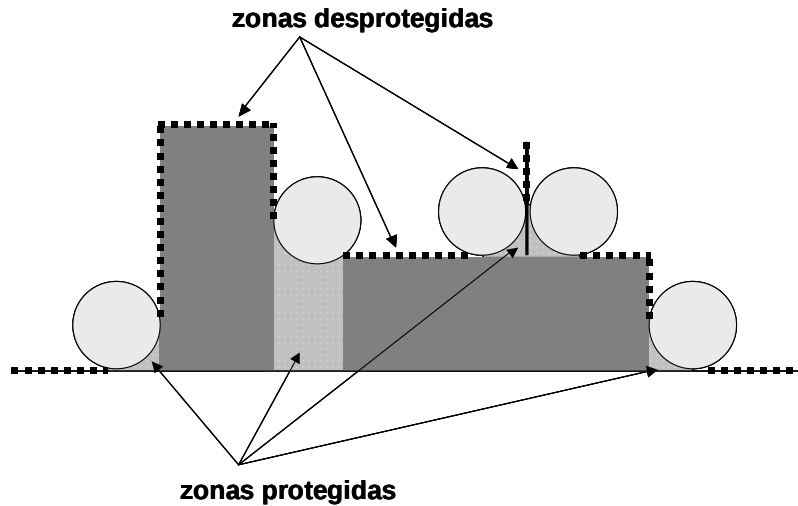
4.1.2 Bajadas de Pararrayos

Constituyen la conexión entre el captor y los electrodos de PAT-PR (Puesta a Tierra de Pararrayos). Es conveniente utilizar cables multifilares o flejes lo más rectos y cortos posible para reducir la inductancia del tendido. Cada captor debe tener al menos una bajada tendida por el exterior de la estructura, con curvas abiertas, siguiendo un trazado conocido y sin revestir con pintura los cables y accesorios. Es importante ecualizar las distintas bajadas de una estructura cada 20 m de altura.

Las estructuras metálicas con continuidad eléctrica (torres de mástiles y hierros del hormigón armado) constituyen bajadas naturales muy eficientes, pues tienen menor impedancia que los cables de bajada.

Las bajadas se deben tender del lado opuesto a los cables coaxiales de antena, quienes deben disponer de kits de PAT, para evitar formación de arcos entre sus blindajes y el mástil. Las riendas de los mástiles además de aumentar el volumen protegido, contribuyen a descargar los rayos a tierra.

Fig. 10 – Método Electrogeométrico Esfera Rodante



4.1.3 Puestas a Tierra de Pararrayos

Se deben utilizar dos o más jabalinas en conexión pata de ganso, para disipar las cargas alejándolas de la caseta o el shelter. Para las PAT-PR importa más lograr una buena dispersión superficial de las cargas, que bajos valores de RDT (Resistencia de Dispersión a Tierra). Más adelante se describen otros tipos de PAT y como estas interactúan con la PAT-PR.

Las estructuras de hormigón armado con continuidad eléctrica también resultan ser electrodos naturales complementarios de PAT-PR, por ello desde la construcción conviene tener acceso a los hierros de todas las plateas, fundaciones y bases civiles.

4.2 Protección Interna

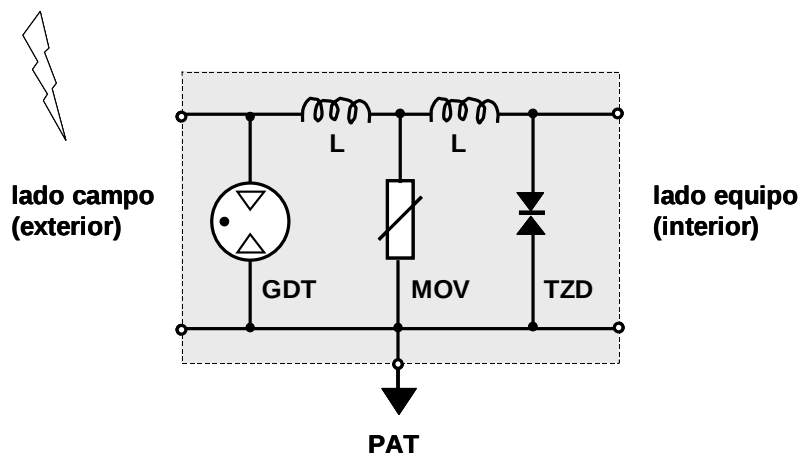
Cuando se instala un SCPR surge la necesidad de agregar protecciones contra los efectos secundarios de las descargas. Los elementos que integran la protección interna son:

4.2.1 Supresores de Transitorios

Los SPD (Supresores de Transitorios) se diseñan para limitar los efectos de las sobre tensiones y sobre impulsos de corriente, utilizando una combinación de componentes de acción escalonada: GDT (Tubo Descargador Gaseoso), MOV (Varistor de Oxido Metal) y TZD (Diodo Supresor de Transitorios).

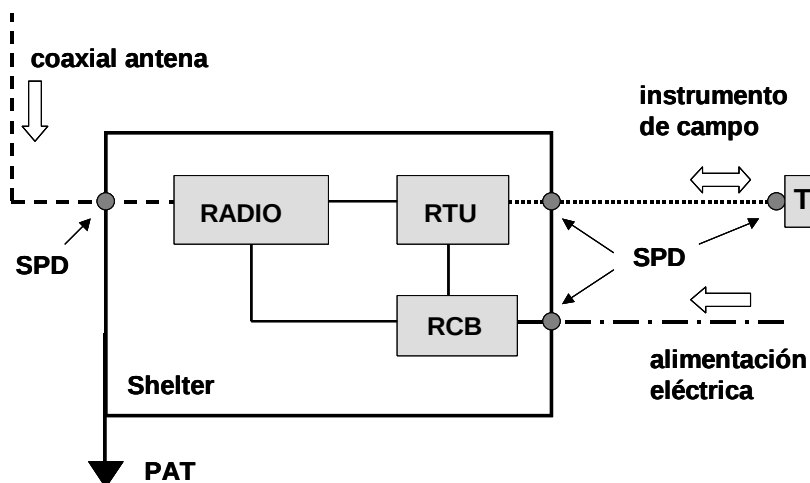
Como los equipos en las ETM se vinculan a las líneas de señales, alimentación y comunicaciones, los SPD son instalados en los límites frontera de las diferentes zonas de protección. La experiencia indica que las líneas de señal son menos riesgosas, debido a que poseen mayor impedancia, luego solamente los lazos considerados críticos requieren un SPD en cada uno de sus extremos, lado campo y lado remota.

Fig. 11 - Supresores de Transitorios SPD



Los SDP instalados en zonas de distinta categoría deben estar coordinados para actuar conforme los niveles de diseño de tensión, corriente y respuesta. Según su procedencia, los SPD se prueban con ondas de corriente 8 / 20 μ s y 10 / 350 μ s. Aún si los lazos incluyen BSI (Barreras de Seguridad Intrínseca) para limitar la energía eléctrica en áreas peligrosas, evitando riesgos de explosión e incendio, se utilizan SPD como parte del SPCDE.

Fig. 12 – Instalación de Supresores SPD



4.2.2 Vías de Chispa

Las VDC (Vías de Chispa) son descargadores gaseosos que en presencia de una DDP anormal conectan en forma momentánea distintas estructuras metálicas aisladas, ya sea por que alguna de ellas tiene PC (Potencial Catódico) o son diferentes PAT que por alguna razón no pueden unirse en forma permanente. De esta manera se evitan formaciones de arcos voltaicos en JD (Juntas Dieléctricas) y JM (Juntas Monolíticas).

4.2.3 Aisladores Galvánicos

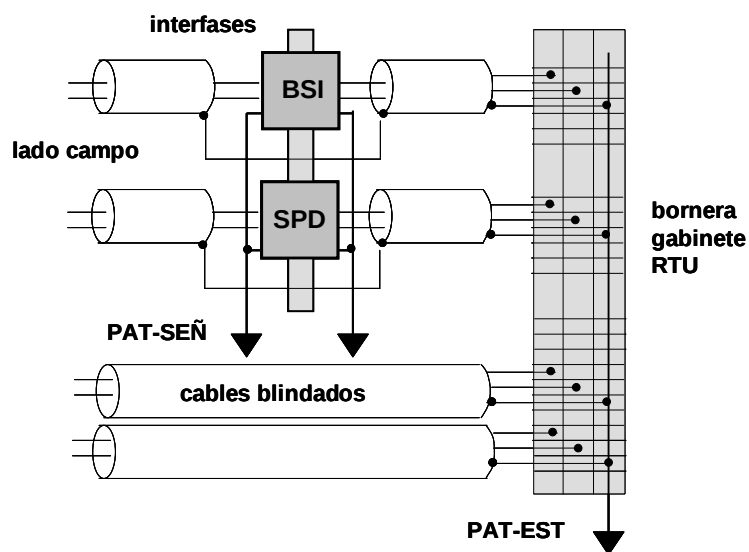
Los AG (Aisladores Galvánicos) se utilizan para evitar interferencias y lazos de tierra. Poseen circuitos con optoaisladores o transformadores que garantizan al menos 5 KV de aislación.

Las FO (Fibras Ópticas) son la mejor manera de transmitir datos con total inmunidad a las interferencias electromagnéticas y óptima separación galvánica de circuitos. Las FO se deben tender por conductos no metálicos. El uso de AG y FO garantizan la total aislación de los vínculos de datos entre la remota, la radio y los sistemas de medición y control asociados a la ETM, ya sean propios o de clientes interconectados.

4.2.4 Blindajes y Separación

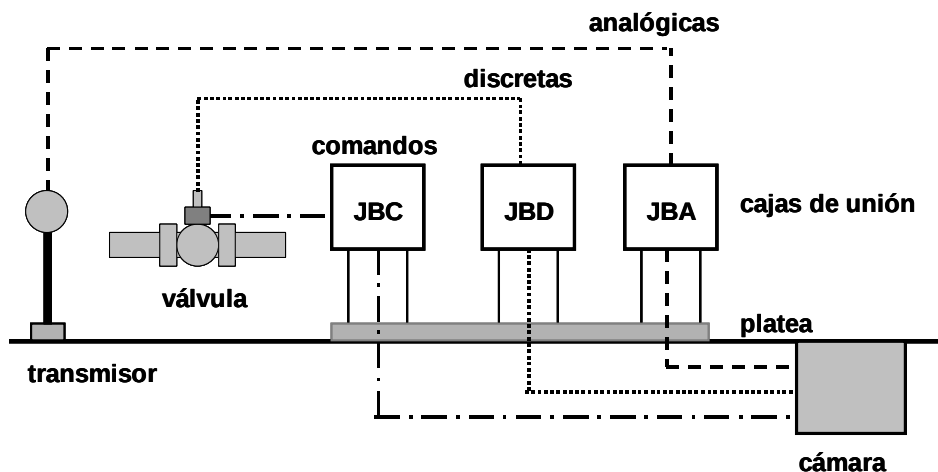
Para reducir el ruido eléctrico captado y generado por los sistemas de instrumentación y control en las ETM, es importante aplicar blindajes de apantallamiento electromagnético en equipos y conductores. Las interferencias inducidas sobre los conductores de señal, se reducen al utilizar cables de instrumentación con par trenzado y malla de blindaje electrostático con cable de drenaje, los que se deben conectar a tierra en un solo extremo (para señales de baja frecuencia) evitando que la corriente circule por la malla.

Fig. 13 – Conexión de Blindajes e Interfases de Protección



Los cables multipares para señales analógicas normalmente poseen blindaje individual y general, mientras que los de señales discretas solo blindaje general. En cada caso los conductores sin uso (reserva) de estos cables se deben conectar a tierra.

Fig. 14 – Separación por Niveles Eléctricos de Señal

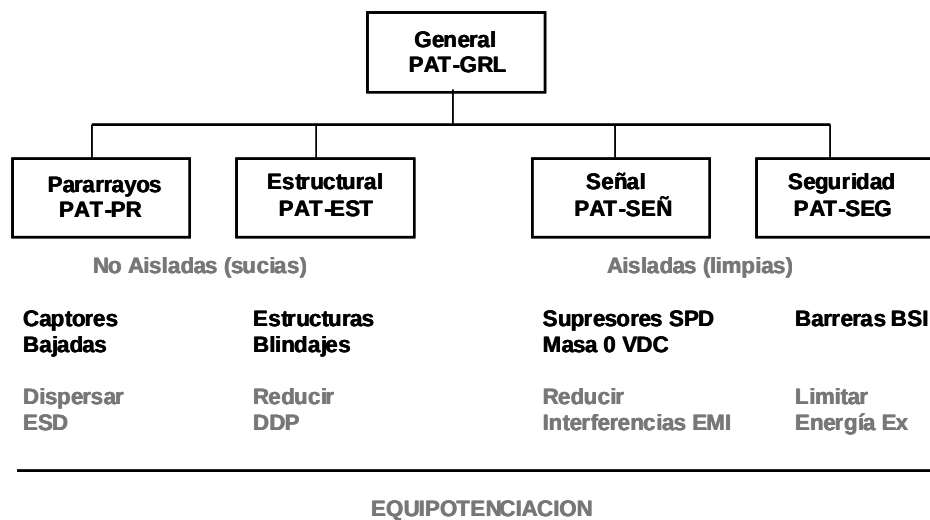


Para establecer el blindaje magnético, los cables deben tenderse por dentro de cañerías metálicas (conduits) conectadas a tierra. Además las canalizaciones separadas según tipo y nivel de señal eléctrica son imprescindibles para eliminar acoplamientos entre conductores de distintas aplicaciones o servicios: señales analógicas, discretas y de alimentación o comando. La separación se debe respetar en los cañeros, cajas de distribución y las bandejas portacables.

5. PUESTAS A TIERRA

Seguidamente se describen las características de las PAT, dejando claro que las dimensiones especificadas son las mínimas requeridas.

Fig. 15 - Sistema Equipotencial de Puestas a Tierra



5.1 Tipos de Puesta a Tierra

En las ETM se recomienda instalar tres circuitos independientes terminados en sus respectivas barras de PAT. Las barras de PAT son placas de cobre de 5 x 25 mm de sección, con longitud suficiente para disponer de orificios roscados separados regularmente que permitan el conexionado individual de los cables sin apilar sus terminales. Las conexiones de las PAT deben ser seguras, permanentes, visibles y accesibles, usando cable de 4 mm². Cada circuito de PAT tiene un propósito específico de veremos a continuación.

5.1.1 Puesta a Tierra Estructural

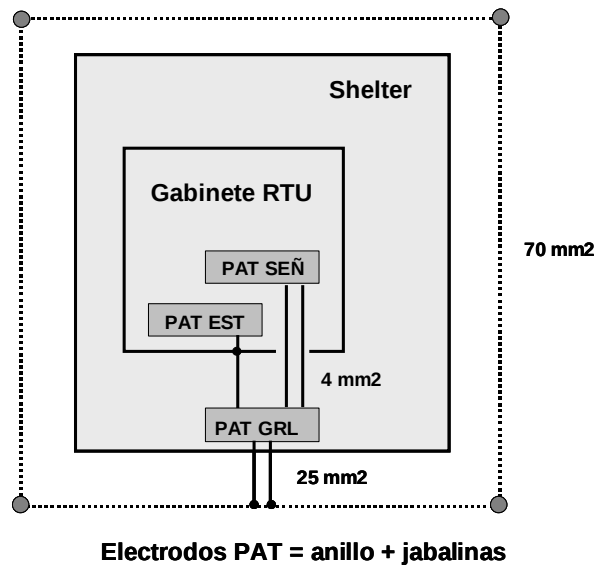
La PAT-EST (Puesta a Tierra Estructural) es una tierra sucia o ruidosa que no está aislada, tiene múltiples conexiones a estructuras metálicas de gabinetes, chasis, tableros, pupitres y mallas de blindaje. Esta tierra está dedicada a reducir y ecualizar DDP para evitar tensiones de contacto y de paso peligrosas.

Cuando se quiera proteger un instrumento situado en el campo con un SPD, éste tendrá que conectarse a PAT-EST, puesto que la PAT-SEÑ no se encuentra cerca del lugar.

5.1.2 Puesta a Tierra de Señal

La PAT-SEÑ (Puesta a Tierra de Señal), es una tierra limpia aislada para la conexión de masas de fuentes de alimentación 0 VCC y tierras de SPD. Esta tierra a veces denominada de instrumentos, es la que confiere inmunidad al ruido electromagnético.

Fig. 16 - Cableado de Tierras en Shelter



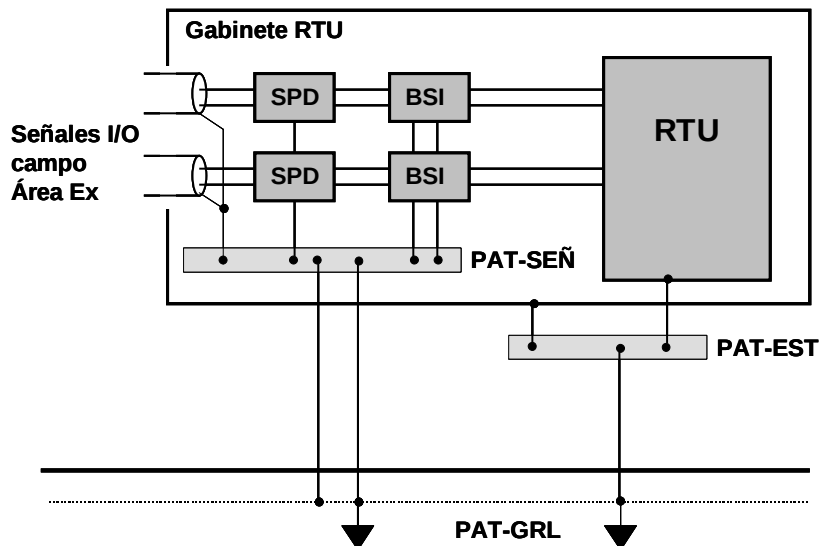
5.1.3 Puesta a Tierra de Seguridad

La PAT-SEG (Puesta a Tierra de Seguridad), es una tierra aislada dedicada exclusivamente a la conexión de las BSI, limitando la energía eléctrica en áreas peligrosas, ya sea en condiciones normales o anormales.

Esta tierra merece especial atención, pues se recomienda usar conductores redundantes aislados, con una resistencia CAT (Conexión a Tierra) de conductores más contactos, desde la BSI más alejada no mayor de 1 ohm, excluyendo claro está la RDT.

Cuando la aplicación requiera la instalación simultánea de SPD y BSI, éstos dispositivos se conectaran en serie. Siendo los SPD los instalados más próximos al exterior (lado campo) de manera de proteger las BSI y los equipos asociados (lado edificio). En ciertas ocasiones al efecto de simplificar las instalaciones pequeñas, se admite el uso de dos barras: una PAT-EST y otra de PAT-SEÑ, integrando las tierras de BSI en esta última.

Fig. 17 – Interconexión de Supresores SPD y Barreras BSI



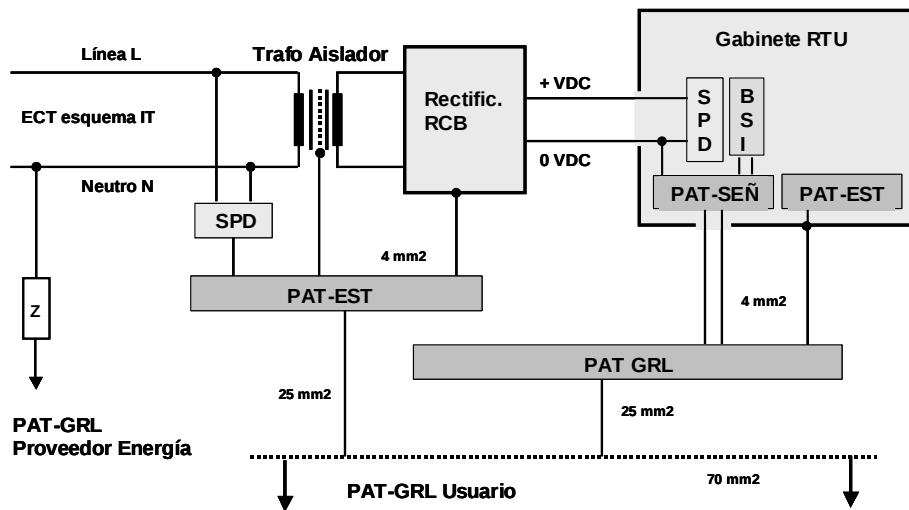
5.2 Interconexiones Neutro y Tierra

Las instalaciones alimentadas desde la red de distribución de energía eléctrica, se vinculan funcionalmente con la tierra para ofrecer ciertas características frente a las perturbaciones y la acción de las protecciones.

Estas vinculaciones, denominadas ECT (Esquemas de Conexión a Tierra) poseen distintos regímenes del N (Neutro). En la Argentina la Reglamentación AEA 90364 obliga a usar esquemas TT (con N a tierra) en inmuebles destinados a viviendas, oficinas y locales e IT (con N aislado) en instalaciones industriales donde existe alto riesgo de contacto directo y la continuidad del servicio es crítica, tal es el caso de las ETM.

En el esquema IT el N (marrón) está aislado de tierra o conectado a ella mediante una impedancia Z del lado Proveedor y las masas metálicas de la instalación eléctrica están directamente conectadas a la PAT-EST del lado Usuario, mediante un cable aislado PE (color verde-amarillo). En este caso las cargas monofásicas de 220 VCA se conectan entre las fases L y N.

Fig. 18 - Interconexión de Tierra PAT y Neutro N



Para poder conectar el N a PAT-EST del lado Usuario cumpliendo con la reglamentación, es preciso instalar un transformador aislador con bobinados separados y pantalla electrostática. Para garantizar la seguridad de las personas que trabajan en las ETM es preciso instalar disyuntores diferenciales en los circuitos de iluminación y tomacorrientes de uso general. Dejando fuera de la protección los circuitos que alimentan a los equipos de Medición y SCADA, evitando que salgan de servicio por eventuales fugas de corriente.

5.3 Ecuilibración de Tierras

Una buena PAT debe establecer una referencia equipotencial donde se conecten todos los sistemas eléctricos y electrónicos de la instalación, limitando las tensiones de contacto, proviendo drenaje para corrientes de retorno-falla, dispersando y neutralizando las cargas eléctricas.

Es muy importante que todas las partes metálicas de la instalación (cañerías y recipientes aéreos, cercos, plataformas, patines, pasarelas, bandejas, conductos, cañerías, gabinetes, tableros, consolas, paneles, cajas, soportes, tableros, tinglados, shelters, etc.) estén conectadas a tierra para reducir cualquier DDP entre ellas.

Un sistema integrado se compone de varios circuitos de tierra, que al principio se diseñan e instalan por separado terminando en barras independientes para poder verificarlas y medirlas en forma individual. Y luego se unen en una barra de PAT-GRL (Puesta a Tierra General o del Sistema).

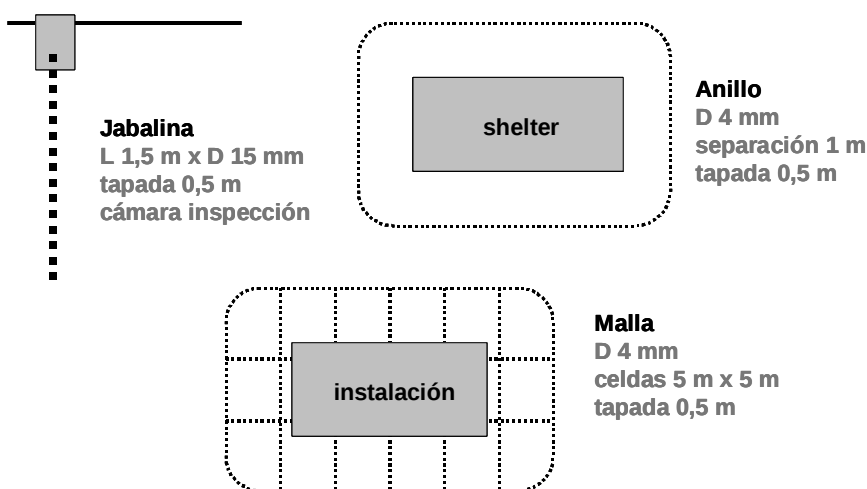
$$\text{PAT General} = \text{PAT Estructural} + \text{PAT Señal} + \text{PAT Seguridad} + \text{PAT Pararrayos}$$

Finalmente la PAT-GRL se la conecta al conjunto de electrodos de dispersión de la ETM, de ser posible preferentemente en un único punto.

5.4 Electrodo de Puesta a Tierra

Según las características del terreno y los requerimientos de protección deseada, el electrodo de dispersión puede estar específicamente fabricado para ese propósito, como la jabalina, el anillo o la malla o bien formar parte de una estructura natural o artificial enterrada, actuando como electrodo suplementario.

Fig. 19 - Electrodo Dispersores de PAT



5.4.1 Jabalinas

Son electrodos cilíndricos terminados en punta cónica, de 3/4" de diámetro y 3 m de longitud. Las jabalinas o picas, que deben estar libres de pintura o cualquier otro revestimiento aislante, se entierran en forma vertical hincándolas por percusión en el suelo, quedando con una tapada de 0,5 m dentro de una cámara de inspección. Esta cámara, además de facilitar la inspección visual de la conexión jabalina-cable, permite desconectarla para medir su RDT en forma individual.

Conviene clavar las jabalinas en el suelo, pues si se perfora el lugar y luego de colocar el electrodo se llena el hueco con tierra, nunca se logrará la compactación original del terreno, excepto que se apliquen rellenos especiales o concreto para encapsular los electrodos. Para reducir la RDT se puede aumentar la profundidad de enterramiento o adicionar más jabalinas. En este caso, la distancia entre ellas debe ser mayor que la suma de sus longitudes para evitar la influencia recíproca.

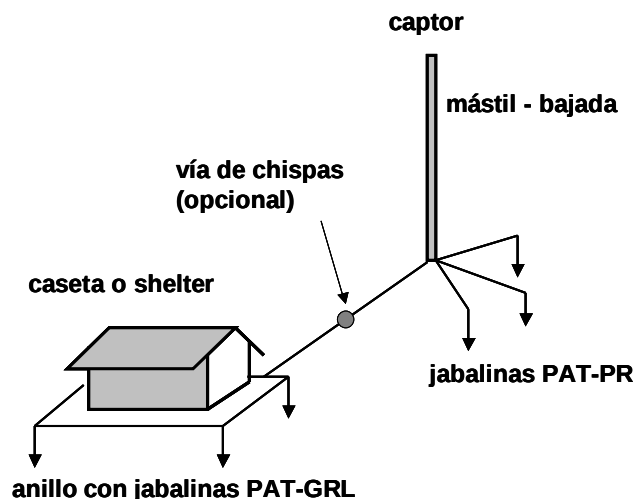
5.4.2 Anillos

Son electrodos que forman lazos cerrados alrededor de las estructuras a proteger, usando cables de 70 mm² enterrados a 0,5 de profundidad y a una distancia de 1,0 m de las paredes externas.

Las curvas del anillo deben realizarse con un radio amplio y la tapada de tierra se debe apisonar para obtener una buena conductividad. También aquí se pueden aplicar rellenos para mejorar la conductividad del terreno.

El anillo perimetral alrededor del edificio evita que las corrientes de descarga circulen a través del piso, reduciendo acoplamientos sobre los equipos alojados en su interior. Se recomienda combinar anillos con jabalinas, instalándolas en los cuatro vértices con cámaras de inspección, para reducir el valor de RDT.

Fig. 20 – Instalación de Anillo y Jabalinas en ETM



5.4.3 Mallas

Son electrodos horizontales en forma de red que ocupan mayor superficie que la instalación a proteger. Las celdas de una malla, formadas por cables de 70 mm² enterrados a una profundidad de 0,5 m, miden desde 1 m x 1 m hasta 10 m x 10 m según el grado de protección deseado.

La implementación de una malla de PAT en una ETM facilita la conexión a tierra de las distintas partes que componen la instalación, ya que las estructuras a proteger siempre se encontrarán próximas a esta. Resulta muy efectivo combinar las mallas con jabalinas intercaladas hasta obtener el valor deseado de RDT.

5.4.4 Electrodo suplementarios

Se recomienda el uso de los hierros del hormigón armado (mallas Sima) de plateas y bases de los edificios como electrodo de PAT, siempre que estos se encuentren debidamente solapados y conectados acorde el Reglamento CIRSOC 201. Para utilizar este tipo de electrodo suplementario se deben disponer de cables redundantes para la conexión de los hierros.

Para contribuir a dispersar las corrientes y bajar la RDT también se pueden utilizar las cañerías enterradas de agua corriente, gas y electricidad. De ninguna manera estos electrodos sustituyen a los principales (jabalinas, anillos y mallas) los que siempre se deberán instalar para proteger las ETM.

5.5 Materiales y Accesorios

Los materiales seleccionados para construir estos elementos dependen de la robustez, la durabilidad y la resistencia a la corrosión. Generalmente se emplea acero cobreado (cooperweld). Las uniones galvánicas conviene realizarlas con soldadura exotérmica (cuproaluminotérmica) y conectores de compresión en lugar de los morsetos que suelen aflojarse y corroerse.

En la selección de los elementos de protección se recomienda optar por aquellos de marca reconocida, que cumplan probadamente con las prácticas y normas IRAM 2309 y 2467 vigentes.

5.6 Parámetros de Medición

Las mediciones relacionadas con los sistema de PAT son dos: la RDT del sistema de electrodos (entre la barra PAT-GRL y el terreno) y la CAT entre las interfases de protección (BSI, SPD, etc.) las barras de PAT y los electrodos (jabalina, anillo, malla).

Para lograr un buen sistema integrado de PAT en una ETM se debe verificar que la sumatoria de las dos mediciones RDT + CAT no supere los 5 ohm. Si es imposible alcanzar este valor agregando electrodos, resultará necesario aplicar un tratamiento al terreno. Cabe destacar que los telurímetros comerciales emplean CC y CA de baja frecuencia, por lo tanto los valores medidos no son representativos para las PAT-PR.

5.6.1 Resistencia de Dispersión

La RDT depende de las condiciones del terreno y la geometría del electrodo. Como la resistividad ρ_t disminuye con el contenido de humedad, la RDT también disminuye. Sin embargo cuando el porcentaje de humedad es mayor del 20 % no se observan sensibles disminuciones de RDT, por esta razón no es necesario saturar el terreno con agua o buscar alcanzar la napa freática al instalar el electrodo.

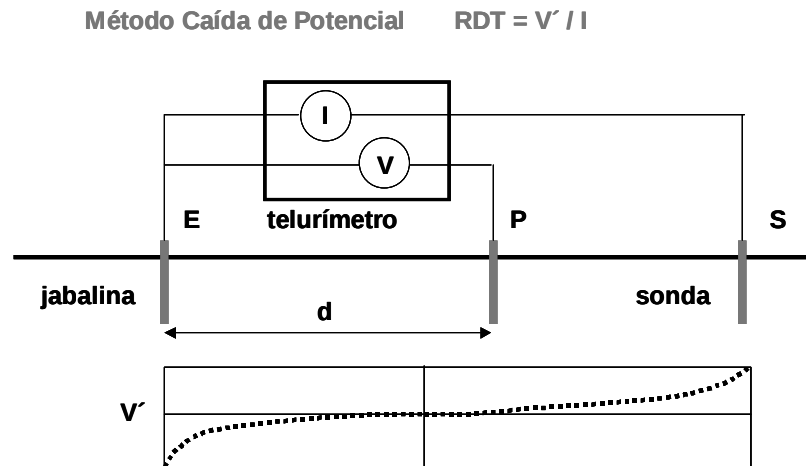
Si la temperatura del suelo es menor de 0 °C el terreno se congela y aumentan los valores de ρ_t y RDT, luego en zonas australes conviene enterrar el electrodo lo más profundo posible.

En cuanto al cálculo teórico de RDT para una red de mallas combinada con varias jabalinas enterradas en un suelo uniforme, conviene utilizar la aproximación de Sverak (Anexo F.2 de la Norma IRAM 2281-1).

$$RDT = \rho \cdot [1/L + 1 \sqrt{20 A} \cdot (1 + 1 / 1 + h \cdot \sqrt{20 A})]$$

Donde A es el área de la red de mallas en m², h es la profundidad de enterramiento en m y L la longitud total de dispersores enterrados (horizontales de la malla + verticales de las jabalinas) en m.

Fig. 21 - Medición de Resistencia Dispersión RDT



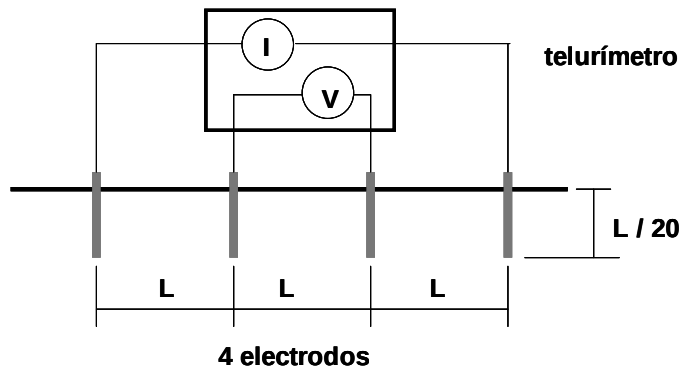
5.6.2 Resistividad del Terreno

La resistividad ρ depende principalmente de la composición, porosidad, compactación del suelo. Varía con la profundidad, concentración de sustancias químicas, cambios de estación, cultivos, contenido de humedad y temperatura. Así la ρ de un suelo seco o helado siempre es mayor que la de un suelo húmedo o cálido. En la práctica se mide la RDT con un telurímetro y se calcula ρ con la siguiente expresión, donde L es la distancia entre jabalinas en m:

$$\rho = (2 \Pi \cdot RDT \cdot L) / 20$$

Fig. 22 - Medición de Resistividad ρ

Método de Wenner $\rho = 2 \pi L (V / I)$



5.7 Tratamiento del Terreno

Antes de instalar los electrodos de PAT en una ETM, es conveniente analizar el tipo de suelo existente en el lugar (conformación, composición y humedad). En ciertos casos, donde el terreno tiene alta ρ superficial o su dureza impide enterrar los electrodos a la profundidad deseada, resultará necesario aplicar sustancias químicas de relleno que mejoren el contacto eléctrico electrodo-terreno y eliminen los fenómenos de polarización y vitrificación.

Los aditivos químicos como sales minerales con productos que favorecen la absorción y retención del agua, formando un lecho que rodea al electrodo, ayudan a reducir la RDT. Las sustancias más adecuadas para este propósito son: sulfato de magnesio, cloruro de sodio, cloruro de calcio, carbonilla, yeso y bentonita. Por lo general cuando el terreno es más salitroso, se verifican menores variaciones de RDT con la temperatura, pues el punto de congelación disminuye.

El tratamiento químico del terreno debe renovarse periódicamente, incluso es necesario humectar el suelo con cierta frecuencia. El aumento de la conductividad logrado es notable en terrenos de gran ρ , como suelos porosos, rocas compactas e impermeables. Como contrapartida, se disminuye la vida útil del electrodo debido al aumento de la acción corrosiva.

5.8 Corrosión vs. Puesta a Tierra

Existe la problemática de incompatibilidad entre los sistemas de PAT y PC que coexisten en una ETM. Por un lado las normas de PAT exigen vincular todas las estructuras metálicas y conectarlas a tierra, mientras que los sistemas de protección anticorrosiva tienden a mantener aisladas del medio a las estructuras enterradas y/o sumergidas, aplicando PC por medio de ánodos galvánicos o corriente impresa.

Las instalaciones de PAT contribuyen a aumentar los efectos de la corrosión sobre las estructuras metálicas enterradas, debido a la conexión eléctrica de los diferentes metales que forman una celda galvánica, el cobre usado como electrodo de PAT y el hierro en las cañerías y estructuras enterradas.

Para evitar un consumo excesivo del PC debido a la alta dispersión de corriente en los electrodos de PAT es necesario aislar las estructuras metálicas enterradas con PC de las aéreas conectadas a PAT. Esto se logra instalando JD y JM bypassadas por VDC.

Fig. 23 – Incompatibilidad PC y PAT

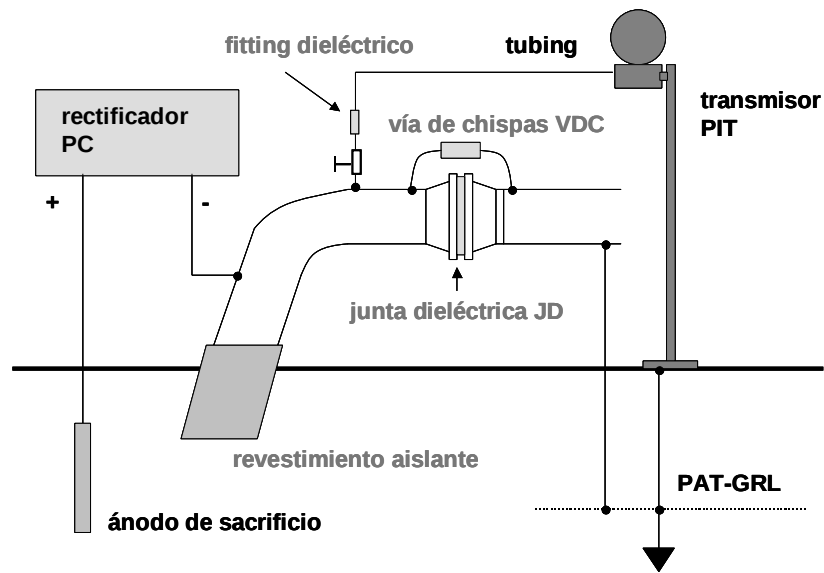
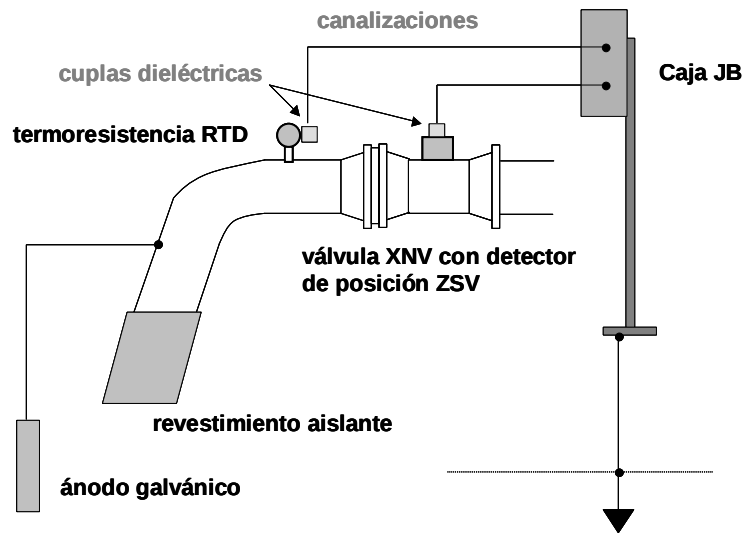
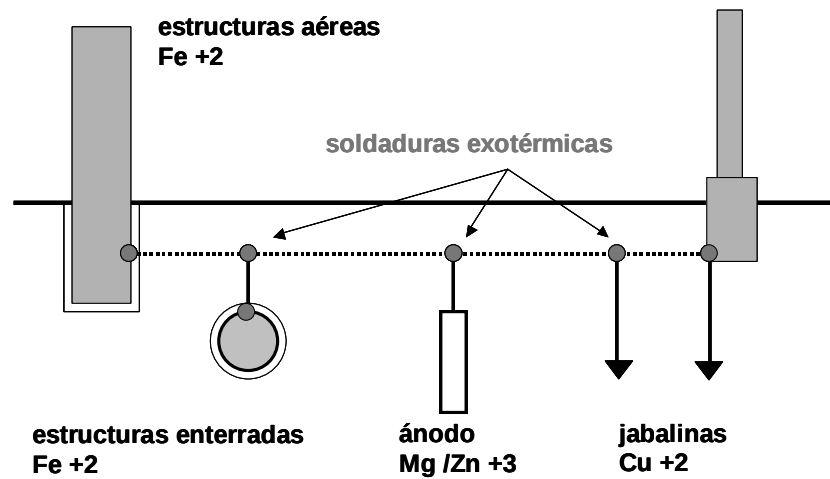


Fig. 24 – Incompatibilidad PC y PAT



Para minimizar el desgaste del sistema de PAT formado por estructuras de acero con hierro Fe^{+2} y cobre Cu^{+2} , debido a la acción corrosiva mencionada, se deben intercalar ánodos de sacrificio de zinc Zn^{+3} o magnesio Mg^{+3} los cuales se comportan como “jabalinas consumibles”. Claro está que el sistema de PC se debe dimensionar considerando los mayores consumos por configurar un sistema integral PAT+PC.

Fig. 25 – Incompatibilidad PC y PAT



Los problemas de corrosión galvánica en uniones metálicas se pueden mitigar aumentando la superficie de contacto (usando flejes en vez de cables) y aplicando compuestos (grasas aislantes, masticos o parches termocontraíbles) para cubrir las uniones y eliminar la humedad que actúa como el electrolito que cierra el circuito iónico.

Para minimizar los desgastes de los sistemas PC+PAT se pueden utilizar elementos del mismo material, por ejemplo utilizando cables y jabalinas de acero. Otra alternativa es conectar temporalmente a PAT las instalaciones protegidas con PC durante las tareas de mantenimiento.

6. INSTALACIONES DE TELEMEDICION

Los conceptos del SPCDE para una ETM típica de 2500 m² de superficie son válidos también para instalaciones de mayor envergadura, como ser Plantas Compresoras, Estaciones de Bombeo, Plantas de Tratamiento, Refinerías, Estaciones de Regulación, Baterías, Playa de Tanques, Cargaderos, etc.

6.1 Instalaciones en Edificios

Nos referimos al equipamiento instalado dentro de una sala de control, contenedor, caseta o shelter, donde la remota y las interfases de protección, aislación y conversión se alojan dentro de un gabinete metálico.

Generalmente los cableados se tienden por tricheras o bandejas en forma perimetral para acometer fácilmente a cada equipo: rectificador, banco de baterías, unidad remota, radio, etc.

Dentro del gabinete RTU se instalan las interfases de protección, aislación y conversión de señales.

Las BSI, SPD y AG se conectan a la barra PAT-SEÑ junto con la masa 0 VCC de la fuente de alimentación.

Los blindajes y las partes metálicas (gabinete y puerta) se conectan a la barra PAT-EST.

Si se pretende aislar la alimentación de VCC externa se utilizan convertidores aislados CC / CC.

El gabinete también contiene borneras y portafusibles para los distintos circuitos de alimentación, señales de entrada y salida a campo I/O.

Fig. 26 – Ubicación de Equipos en Shelter

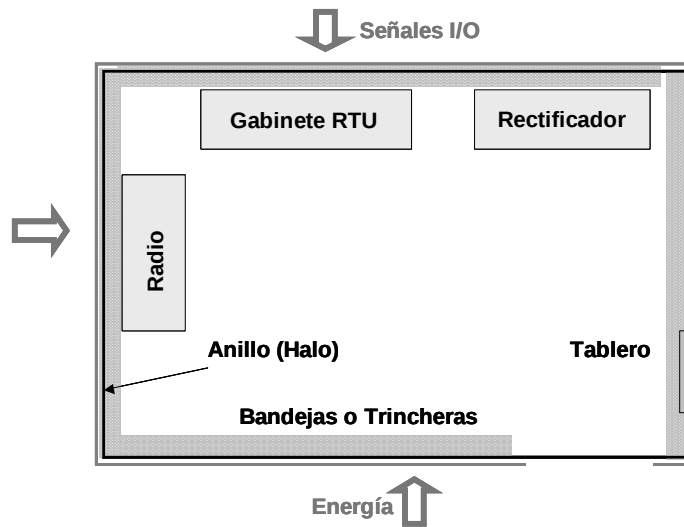


Fig. 27 – Disposición de Interfases en Gabinete de RTU



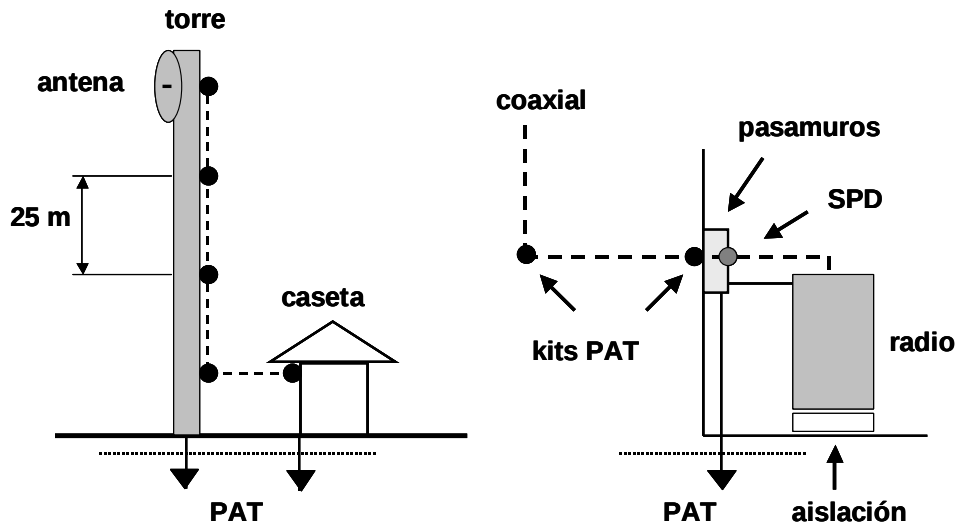
6.2 Instalaciones de Comunicaciones

Las instalaciones de comunicaciones se deben proteger con un especial cuidado, ya que preferentemente los rayos impactan en los pararrayos y mástiles de antena, conduciendo las descargas a tierra a través de las estructuras metálicas de las torres, riendas, cables de bajada y coaxiales.

Ya sea al tope de un mástil de 6 m de altura o una torre de 80 m, siempre se instala el pararrayos que protege la ETM. Las riendas de los mástiles arriostrados proporcionan un SCPR de mayor cobertura, contribuyendo

además a disminuir la DDP entre su tope y la base, reduciendo en consecuencia las descargas que pueden acometer a la radio.

Fig. 28 – Protección de Instalaciones de Radiocomunicación



La acometida de los cables de antena en la caseta es un punto crítico a tener en cuenta. Los coaxiales deben atravesar placas de cobre pasamuros con SPD conectados a PAT-EST en forma recta y directa mediante flejes de cobre. Los Kits de PAT limitan las descargas por la malla del coaxial, mientras que los SPD reducen las descargas por el conductor central.

Fuera del shelter se instala un anillo conectado a la barra de PAT general con dos cables de 25 mm². Dentro del shelter conviene instalar un anillo perimetral cerca del techo (halo) y bajo el piso una malla de reticulado pequeño, ambos conectados a PAT-EST para eliminar interferencias de radiofrecuencia.

6.3 Instalaciones de Campo

6.3.1 Cañerías y Recipientes

Los tramos de cañería aérea vinculados a los instrumentos de medición y control (patines con puentes de medición y regulación) deben estar aislados del PC y conectados a PAT-EST. Normalmente en estos casos se utilizan JD o JM para aislar los patines de las cañerías enterradas de entrada y salida con PC.

Para evitar la formación de arcos voltaicos que dañen las JD-JM durante las descargas atmosféricas y garantizar la continuidad de las corrientes de PC en las cañerías, se instalan VDC del tipo APE (a Prueba de Explosión). Cuando las instalaciones de campo abarcan una gran superficie, es mejor protegerlas con hilos de guarda horizontales instalados sobre las mismas.

En instalaciones separadas a más de 400 m conviene instalar sistemas de PAT independientes.

6.3.2 Instrumentos de Medición y Control

Los instrumentos vinculados a las cañerías con PC deben llevar accesorios dieléctricos en las conexiones neumáticas y eléctricas, lo más cerca posible a las conexiones de proceso, para reducir las posibilidades de ser accidentalmente cortocircuitados por los elementos de fijación.

Los soportes de instrumentos, cajas de unión y tableros para el comando de válvulas, como toda estructura metálica en campo, deben estar conectados a la PAT-EST con cables desnudos o flejes metálicos de 25 mm².

6.4 Mantenimiento de las Instalaciones de Protección

Un programa de mantenimiento preventivo es indispensable para asegurar el adecuado funcionamiento del SPCDE, ya que muchos de sus componentes suelen perder efectividad con el transcurso del tiempo, debido a factores climáticos, acción de la corrosión, daños por descargas recibidas o alteración de las instalaciones.

En la fase constructiva resulta conveniente supervisar a las Contratistas y capacitar al personal que operará la ETM para que conozca el SPCDE que está instalándose. Posteriores inspecciones permitirán asegurar que sus componentes se hallan en buen estado, conservando la capacidad operativa original.

Es importante verificar que las estructuras no tengan roturas y partes afectadas por la corrosión, que las conexiones y uniones presenten buena continuidad eléctrica y que los dispositivos de protección estén en buen estado. Se recomienda medir los valores de RDT y CAT anualmente, aumentando la periodicidad cuando se experimenten importantes cambios estacionales en la región.

Se deberá llevar un registro de las inspecciones y las tareas realizadas sobre los componentes del SPCDE, incluyendo las mediciones, modificaciones y reparaciones. La documentación fotográfica de las partes son un valioso aporte para estudiar posibles causales de los fenómenos ocurridos. Adicionalmente se pueden incorporar contadores que registren la cantidad de rayos impactados sobre las estructuras.

Los resultados de las inspecciones deben compararse con los antecedentes, inspecciones previas o datos de la instalación original, de manera que toda diferencia sustancial que se encuentre sea investigada a fondo. Cuando los reportes de inspección indiquen fallas en el SPCDE se deberán efectuar las correspondientes reparaciones a la mayor brevedad posible.

7. SEGURIDAD PERSONAL

Ningún sitio al aire libre es totalmente seguro durante una tormenta eléctrica y las personas, cuyo cuerpo conduce la corriente eléctrica mejor que el aire, quedan vulnerablemente expuestas a las descargas de los rayos. Las empresas deben concientizar a su personal para que adopten medidas de seguridad, tendientes a reducir los riesgos de sufrir consecuencias de impactos directos e indirectos.

7.1 Estado de Alerta

En ocasiones las descargas más intensas se producen antes y después de una fuerte lluvia, por lo que la peligrosidad es mayor al inicio y al final de la tormenta eléctrica. Como en la Argentina no existen redes de alerta temprana, hay que prestar atención a los boletines meteorológicos. Los ruidos de las interferencias captadas en las radios también dan una idea de la intensidad y cercanía las tormentas.

Existe un criterio para determinar la distancia del impacto de un rayo, teniendo en cuenta las diferentes velocidades de propagación de la luz y el sonido en el aire. Cuando la relación F / B (Flash / Bang) es igual a 5 segundos, la descarga se produjo a 1 milla = 1,6 kilómetros del sitio donde uno se encuentra.

Como medida más conservadora se recomienda usar la regla 30" / 30'. Si el tiempo entre el primer destello y su estruendo es menor de 30 seg se deben suspender las actividades y buscar rápidamente un sitio seguro para permanecer durante la tormenta y esperar allí unos 30 min después de ver o escuchar el último rayo.

7.2 Acciones a Tomar

Las personas que se encuentran en el campo están más expuestas a las descargas de rayos. En estos casos conviene alejarse de instalaciones metálicas (cercos, alambrados, barandas, pasarelas, mástiles, cañerías, recipientes y canalizaciones aéreas), lugares elevados (techos, plataformas, torres, mástiles, postes y tanques) y sitios con agua (canales, piletas y tanques).

Lugares inseguros son los refugios, galpones, tinglados y carpas. Conviene alojarse dentro de un shelter, caseta o vehículo con las ventanillas y puertas cerradas. Si esto no es posible, se evitará llevar encima objetos metálicos (que pueden fundirse y provocar quemaduras) y se buscará alejarse de otras personas adoptando la siguiente posición de seguridad: agachado en cuclillas con los pies juntos, la cabeza abajo y tapándose los oídos con las manos.

Para las personas que se encuentran en el interior de edificios, los riesgos provienen de sobretensiones que aparecen en elementos metálicos vinculados a líneas externas, efectos de inducción y acoplamiento. Por tal razón, conviene alejarse de cañerías de agua, marcos de puertas y ventanas. Tratar de no tocar superficies metálicas, no utilizar aparatos conectados a la red eléctrica y evitar el uso de aparatos de telefonía o radio.

Los lugares más seguros para refugiarse son las instalaciones subterráneas, shelters y contenedores metálicos y estructuras con hormigón armado, por asemejarse a las jaulas de Faraday.

En todos los casos se deberán suspender las actividades relacionadas con relevamientos, inspecciones, obras, operación y mantenimiento de las ETM.

7.3 Prestación de Auxilio

Los primeros auxilios sobre una persona impactada por un rayo, son los mismos que se aplican para las descargas eléctricas y quemaduras. La prestación de resucitación cardio-pulmonar (RCP) por parte de algún socorrista en el lugar mientras llega la ayuda médica, puede llegar a salvar la vida del accidentado.

8. CONCLUSIONES

Se concluye que no hay evidencia teórica ni experimental que sustente la posibilidad de impedir la formación del rayo ni la de extender la protección más allá que la proporcionada por un captor convencional.

No obstante un SPCR se diseñe e instale de acuerdo a las normativas y prácticas recomendadas, nunca puede garantizar una protección absoluta. Sin embargo reduce en forma significativa los riesgos asociados, dejando el control de la situación en manos del hombre más que en la naturaleza.

Los SPCR son fundamentalmente necesarios para garantizar un cierto grado de seguridad, por lo tanto se deben basar en sistemas probados e integrales, tomando en cuenta todos los aspectos técnicos: desde el diseño en la etapa de la ingeniería, la selección y calidad de todos sus componentes, la supervisión durante el montaje en obra, el correcto mantenimiento de las instalaciones y la educación del personal.

Los factores a considerar antes de instalar un SCPDE en una ETM son: riesgos del personal, pérdidas de producción, daños y costos de reparaciones, premios de seguros, valor y naturaleza de las estructuras y su contenido, frecuencia y severidad de tormentas eléctricas en la región, costos del sistema de protección.

9. NOMENCLATURA

Seguidamente se indica el significado de algunas siglas citadas o relacionadas con este trabajo:

AG	Aislador Galvánico
APE	A Prueba de Explosión
BSI	Barrera de Seguridad Intrínseca
CA	Corriente Alterna
CAT	Resistencia de Conexión
CC	Corriente Continua
CTS	Sistema de Transferencia de Cargas
DDP	Diferencia de Potencial
ECT	Esquema de Conexión a Tierra

EMC	Compatibilidad Electromagnética
EMI	Interferencia Electromagnética
ESE	Sistema de Emisión Temprana
ESD	Descargas de Electricidad Estática
ETM	Estación de Telemedición
FC	Computador de Flujo
GC	Cromatógrafo de Gas
GDT	Descargador Gaseoso
JD-JM	Junta Dieléctrica-Monolítica
MOV	Varistor Oxido Metal
PAT	Puesta a Tierra
PAT-EST	Puesta a Tierra Estructural
PAT-PR	Puesta a Tierra de Pararrayos
PAT-SEG	Puesta a Tierra Seguridad
PAT-SEÑ	Puesta a Tierra Señal
PAT-GRL	Puesta a Tierra General
PLC	Controlador Lógico Programable
PC	Potencial Catódico
RDT	Resistencia de Dispersión a Tierra
RTU	Unidad Remota
SCADA	Sistema de Telesupervisión y Control
SI	Seguridad Intrínseca
SPCDE	Sistema de Protección contra Descargas Eléctricas
SPCPE	Sistema de Protección contra Perturbaciones Eléctricas
SPCR	Sistema de Protección contra Rayos
SPD	Supresor de Transitorios
TZD	Diodo Supresor de Transitorios
UM	Medidor Ultrasónico
VDC	Vía de Chispas

10. REFERENCIAS

10.1 Referencias Institucionales

Las instituciones y organizaciones citadas en el presente trabajo corresponden a:

AEA	Asociación Electrotécnica Argentina
ANSI	American National Standard Institute, USA
API	American Petroleum Institute, USA
CEFRACOR	Center Francais de l'Anticorrosion
CIRSOC	Centro de Investigaciones y Reglamentos Nacionales de Seguridad Obras Civiles, Argentina
FAA	Federal Aviation Administration
IEC	International Electrotechnical Comission, Suiza
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA
IIE	Instituto de Ingeniería Eléctrica, Uruguay
IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas, México
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina
ISA	International Society of Automation, USA
MIT	Massachusetts Institute Technological, USA
NFPA	National Fire and Protection Association, USA
NLSI	National Lightning Safety Institute, USA
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration, USA
NSSL	National Severe Storms Laboratory, USA
UL	Underwriters Laboratories, USA

10.2 Referencias Bibliográficas

El contenido de este trabajo se basa en artículos y notas de las siguientes publicaciones:

- Descargas Atmosféricas - E. Cano, GREdYp Universidad Nacional de Colombia 2008.
- Las Estructuras Metálicas de Hormigón Armado y la Descargas Atmosféricas - J. Arcioni IRAM 2000
- Lectures on Physics - R. Feynman, R. Leighton y M. Sands, Addison Wesley Longman 1987.
- Lightning Protection for Pipeline Compressor Stations - B. Kaiser, PIPELINE & GAS JOURNAL 2005
- Lightning Physics and Effects - V. Rakov y M. Uman, Cambridge University Press 2003.
- Lightning Protection and Grounding Solutions - K. Rand POLYPHASER 2000
- Lightning Safety for Sensitive Electronics, Explosives and Volatile Substances - R. Kithil NLSI 2009.
- Los Rayos y sus Efectos - A. Rodríguez Montes, INT AR
- Pararrayos no Convencionales - C. Briozzo y M. Simon - IIE Universidad de Uruguay 2008.
- Personal Lightning Safety Plan - R. Kithil NLSI 1998
- Protección Contra Descargas Atmosféricas - E. Mariani, UL IEEE 2005.
- Protección Contra el Efecto de Tormentas Eléctricas - A. Galván Diego, R. Velásquez Sánchez IIE 2001

10.3 Referencias Normativas

Las normas, prácticas y recomendaciones utilizados en la elaboración del presente trabajo son:

- Code of Practice for Protection of Structures Against Lightning - BS 6651 1992
- Código de Práctica Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos - IRAM 2281
- Condiciones de Seguridad para Instalaciones de Estaciones de Medición de Gas - NAG 148 1992
- Grounding Recommended Practice - ANSI S6.1 1991
- Lightning Protection, Grounding, Bonding and Shielding Requirements – FAA 019c 1999
- Materiales para Puesta a Tierra, Conductores IRAM 2467
- Materiales para Puesta a Tierra, Jabalinas y Accesorios IRAM 2309
- National Electric Code, artic. 250 Grounding and Bounding NEC - NFPA 70
- Protección contra Descargas Atmosféricas - IRAM 2184 (IEC 1024) 1996
- Protección contra Descargas Eléctricas Atmosféricas – AEA 92305 2007
- Protection Against Ignitions Arising out of Static, Lightning and Stray Current - API 2003 1991
- Protection des Estructures Countre la Foudre - NF C 17-102 1995
- Recommendations for Compatibility Grounding and Cathodic Protection - PCRA 004 CEFRAFOR 2005
- Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment - IEEE 1100 2005
- Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón Armado - INTI CIRSOC 201, 2002
- Standard for Lightning Protection - IEC 62305 (ex 61024) 2006
- Standard Installation Lightning Protection Systems NFPA 780
- Standard Installation Requirements for Lightning Protection Systems - UL 96A
- Wiring Practices for Hazardous Locations Instrumentation ANSI ISA RP 12.6 1995

11 Currículum del Autor

Ingeniero Electromecánico orientación Electrónica, Facultad Ingeniería - FIUBA, 1978.
Ingeniero especializado en Gas, postgrado en el Instituto del Gas y Petróleo, IPUBA, 1982.
Ex Profesor Titular Ordinario de Electrónica en la Facultad Regional Haedo - FRHUTN 1996.
Dictó cursos de capacitación y seminarios en diversas Instituciones y Organizaciones Profesionales.
Es instructor del IAPG desde 1992 y trabajó en EVADIN, SOLIDYNE, MODULOR, TECMASA, GAS DEL ESTADO. Actualmente se desempeña en la Dirección de Servicios - Proyectos de Medición de TGS.