

### Sistemas de Protección Eléctrica

---

---

#### A. 19. 1. La necesidad de prever protecciones

Las instalaciones de la planta externa están, por su característica, permanentemente expuestas a los fenómenos ambientales, naturales y/o artificiales. Ello degrada su calidad constructiva, lo que provoca perturbaciones en la transmisión y señalización o son causales de riesgos a la seguridad de los equipos, personal, usuarios o a terceros.

Los daños producidos pueden ser originados por efectos eléctricos, electroquímicos, biológicos, etc., lo que ocasiona grandes desembolsos por:

- a) Localización y reparación de las averías,
- b) Sustitución de las partes dañadas,
- c) Subsanan los daños causados al personal,
- d) Evitar la interrupción y/o degradación del servicio,
- e) Reducción de la vida útil de los elementos de planta,
- f) Lucro cesante producido.

Los perjuicios son mayores en sistemas con tecnología de alta complejidad o capacidad, como son los actualmente instalados.

Esto hace a la necesidad de considerar en el diseño, las alternativas de un mejor trazado, las separaciones necesarias con líneas de energía eléctrica u otros servicios y/o la consideración de prever protecciones eléctricas o mecánicas, adecuadas a cada caso.

Las descargas eléctricas producidas por líneas de alta tensión o por rayos, provocan ruidos en la transmisión, los que pueden llegar a causar choques acústicos que afecten la calidad de la transmisión, lastimen a usuarios o sean hasta causales de muerte de operarios.

Si bien las características de fabricación de los equipos y elementos de la planta externa evolucionan con mejores características protectivas, su miniaturización y técnicas de transmisión más sensibles, hacen a su mayor y más cuidado tratamiento.

Los métodos de protección a emplear, están directamente ligados, al alto grado de tecnología utilizada en la confección de cables, materiales y equipos usados, como a los métodos de su instalación, construcción y del mantenimiento, como así, al diseño de las rutas. Conforme se mejoren éstos, la red y por ende el servicio, adquirirán mayor confiabilidad.

El proyectista debe tener presente que los sistemas de protección resultan mas costosos de implementar luego de manifestarse las averías, por ello debe prevé las anticipadamente en el diseño y revisar su instalación y seguimiento posterior.

Garantizar las condiciones de seguridad de un sistema, requiere del estudio previo del equilibrio de los costos de la protección, en función a la cantidad de averías admitidas.

En el gráfico de la figura 1 se observa que cuanto mayor fuese el número de a-verías admitidas  $N$ , menor será el costo por protección,  $C_p$ . Por el contrario será mayor el costo, debido a las  $N$  averías producidas en las instalaciones,  $C_A$ .

Los costos totales (  $C_p + C_A$  ) generados por la instalación de elementos tales como circuitos de guarda, tomas de tierra, descargadores, etc. y los producidos en consecuencia de los daños resultantes, reparaciones, lucro cesante, sustitución, tendrán un punto mínimo óptimo dado como número de averías admisibles,  $N_A$ . El valor  $C_{pm}$ , corresponde al costo mínimo de protección para garantizar las condiciones de seguridad del personal (Fig. 1).

Fig. 1

## **A. 19. 2. Fenómenos naturales y artificiales**

El diseñador debe determinar si el área del proyecto está expuesta a algún o varios fenómenos. En su caso analizará su incidencia y contemplará las medidas a adoptar e incluirá los elementos necesarios de protección (Fig. 2).

Fig. 2





.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

Fig. 3

Las dilataciones y contracciones longitudinales, provocan daños como ser rajaduras o fisuras a las cubiertas y empalmes de los cables y/o deslizamientos en las aislaciones de los conductores, con consecuencia de atenuaciones adicionales por presencia de agua o circuitos eléctricos abiertos, ligados o en cortocircuito.

Estos fenómenos tienen mayor ocurrencia en construcciones aéreas. El deslizamiento del núcleo se produce por hacerse presente tensiones internas introducidas en la cubierta, durante el proceso de fabricación del cable.

Ellas se ponen en evidencia a través del ciclo de calor originado ante la exposición permanente a los rayos solares. En caso extremo, el deslizamiento de la cubierta puede provocar la exposición al exterior del núcleo

Para evitar este fenómeno, se deben considerar en los métodos de diseño y en los de construcción, las variaciones extremas de temperatura para fijar las flechas apropiadas de los cables según longitudes del vano, calibres de los conductores y capacidades de los cables. Una flecha reducida dada en una hora de la tarde de un día caluroso de verano, por la noche puede significar un cable y sus-pensor tensados al máximo.

También es conveniente tanto en construcción aérea como subterránea o enterrada, el dejar curvaturas adicionales como riqueza del cable, las que puedan absorber estas variaciones longitudinales (Fig. 4).

.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

Fig. 4

Los ductos, sobretudo los suspendidos bajo puentes también sufren grandes variaciones en su longitud. Si son construidos con caños de hierro, podrán sobresalir de las paredes en las cámaras, lastimando las cubiertas de los cables. Para evitar esto, deben proveerse uniones elásticas, que absorban estas, por ejemplo tramos con ductos flexibles (Fig. 5).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 5

En caso que estén suspendidas con uso de soportes o ménsulas, la sujeción debe ser libre para permitir su deslizamiento sin originar tensiones mecánicas.

El agua congelada por temperaturas inferiores a 0 °C, forma una capa de hielo alrededor y colgando bajo los cables aéreos que crean un sobrepeso a los suspendores e infraestructuras de soporte. El depósito de nieve sobre los cables aéreos también produce sobrepesos considerables.

En ductos construidos en cemento, el agua estancada en su interior, al congelarse ocasiona un incremento de su volumen hasta de un 10 %, actuando sobre la cubierta del cable instalado allí, produciendo rajaduras en su cubierta o en el mismo caño. Atento a estos perjuicios deben de:

- a) Prevenirse las filtraciones de agua dentro de los ductos,
- b) Drenar periódicamente el agua dentro de las cámaras de registro,
- c) Instalar ductos de polietileno anticongelantes,
- d) Colocar cables con cubiertas resistentes,
- e) Instalar subductos que eviten la congelación.

La inserción de tubería de polietileno anticongelante es el método más efectivo, simple y económico. En él, se tiende dentro de los ductos, una tubería de polietileno junto a los cables, de esta forma absorbe la presión resultante del congelamiento, evitando así, rajaduras o aplastamiento del cable (Fig, 6).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 6

En el caso de ductos de subidas a fachadas o postes, con protecciones, se deben utilizar ductos seccionados longitudinalmente y proveer casquetes de vinilo que sellen la entrada de agua por la parte superior del ducto y la parte superior de la protección (Fig. 7).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 7

En zonas de fríos extremos, el congelamiento del terreno puede producir el flotamiento de los postes, varillas de toma de tierra y anclajes de las rutas aéreas, tapas de cámaras, etc.

En los postes de madera el agua acumulada en grietas, al congelarse formando hielo se expande y provoca rajaduras pronunciadas obligando a su sustitución. Las cámaras de registro también pueden sufrir este tipo de rajaduras. Para los armarios de subrepartición debe asegurarse su ventilación libre natural, permitiéndole la aireación interna del mismo. En este caso se debe impedir la entrada de polvo e insectos, mediante mallas de alambre tejido.

El policloruro de vinilo (PVC), sufre graves degradaciones a bajos valores de temperatura, ocasionando resquebrajamientos del material, por ello se debe proveer, en su caso, cierres de empalmes, cubiertas de cables o cajas terminales, que estén construidos con otros materiales.

### **A. 19. 3. 2. Humedad y lluvia**

La humedad relativa habitualmente existente en galerías de cables, ductos, y cámaras de registro, o en rutas aéreas y distribuciones de manzana deben de asumirse como del 100 %. Tal grado de humedad crea una disminución del valor de aislamiento eléctrico de los pares y la degradación de las propiedades mecánicas de los materiales expuestos, sobretodo de la madera o el hierro, debido a su acelerada corrosión.

Por otra parte las rutas aéreas y las distribuciones de manzana, bajo el agua, durante las lluvias sufren una elevada corrosión de los plásticos, maderas y de los metales de sus elementos componentes. Los empalmes y las cajas terminales de fácil acceso, son los mas afectados por la introducción de agua.

Los circuitos de líneas abiertas, constituidos por alambres desnudos, en su funcionamiento normal están aislados eléctricamente de tierra, por aisladores, los que les sirven asimismo de soporte. El fenómeno de lluvias, el hielo y nieve acumulada y tormentas con fuertes vientos aumentan los riesgos de producir contactos eléctricos de las líneas de telecomunicaciones, con las líneas de energía.

Asimismo las lluvias hacen que las líneas abiertas tomen valores de bajo aislamiento, produciendo faltas como ligado, inducido y atenuaciones o ruidos en la transmisión. Los nidos de aves y las ramas sobre estos circuitos, provocan a su vez, descargas a tierra y cortocircuitos. Estas consecuencias se evitan con un cuidado mantenimiento.

El efecto denominado respiración del cable (ver Tomo III), hace a la introducción de vapor de agua dentro de los cables expuestos, condensándose y deteriorando los materiales, en especial sulfatar los conectores de los empalmes y con ello degrada los valores y la calidad de la transmisión.

Todo elemento metálico debe ser protegido de la forma mas adecuada a la zona de aplicación, especialmente en cercanías del mar donde la humedad cargada de sal corroe rápidamente los suspensores de los cables, arriostamiento, herrajes de sujeción, cajas terminales o armarios subrepartidores.

Con estas condiciones, en un par de años estos deben ser reemplazados.

Materiales tipo Copperweld para barras de anclajes o alambres de líneas abiertas, es un método utilizado para su solución. Recubrimientos con pinturas epóxi o galvanizado por inmersión, son otros métodos utilizados.

Las medidas preventivas a ejecutar se pueden resumir en, el uso de:

- a) Cables y empalmes rellenos, con óptima cubierta y cierre (cables PAL o Stalpeth, cierres tipo termocontraible),
- b) Respiración libre en rutas aéreas, es útil como alternativa (desecantes, calefaccionado de los armarios),
- c) Materiales metálicos con óptima cubierta protectora (galvanización por inmersión, pinturas epóxicas).

### **A. 19. 3. 3. Inundación**

Las inundaciones, cursos de agua, movimientos y desprendimientos de tierra provocados por lluvias intensas, causan daños en las redes. Por ello sus efectos deben ser evitados, previendo anticipadamente su ocurrencia y diseñando las rutas con ubicación en áreas apropiadas, que estén libres de la posibilidad de su incidencia.

Las canalizaciones se diseñan recubiertas de hormigón armado, mediante el uso de parrillas reticuladas de hierro, colocadas en su parte superior e inferior.

En la conveniencia de no utilizar recubrimiento protector, a fin de obtener una canalización flexible, conveniente a los movimientos de tierra, debe utilizarse ductos reforzados, con paredes de 3 ó 4 mm de espesor, por ejemplo 102/110 mm (diámetro interior exterior). En este caso los ductos llevan separadores y están dispuestos en camas de arena o tierra cernida, que logra el drenado del agua y su movilidad a los movimientos del terreno.

Las aguas servidas provenientes de otros servicios producen mayores males, por lo que debe cuidarse su incidencia, procediendo a su reclamo oportuno. No permitir la acumulación de aguas contaminadas evita efectos posteriores de corrosión, tanto a cables como a cañerías y cámaras de registro. No pudiendo salvar estos efectos, se deben diseñar construcciones aéreas.

En terrenos fangosos, anegadizos o donde la napa freática es muy alta para ciertas épocas del año, se debe prever anclajes especiales, tanto en rutas aéreas como en subterráneas o de enterramiento directo.

En el caso de cámaras de registro, se deben diseñar zapatas de anclaje que al sobresalir de su base impiden el hundimiento de una pared lateral, o por el contrario la flotación irregular de una parte de la cámara, lo que causaría la rotación sobresimismo y el volcado de la misma. Otro método de efecto superior, es el diseño de una plataforma, sobre donde la cámara es asentada.

Para el diseño de rutas aéreas se debe considerar instalar los postes anclados con muertos transversales o estructuras de postes dobles apareados tipo A o H.

Las canalizaciones deberán disponer de dados de hormigón como anclajes colocados cada 30 m. Los cables subterráneos deben ser presurizados o en su defecto rellenos. Los enterrados no son tan afectados, pues permiten el drenaje del agua, siempre que se considere colocarlos del tipo rellenos con empalmes estancos, también rellenos, y provistos de cubiertas adecuadas.

En las galerías de cables y cámaras de registro especiales, deben preverse la instalación de bombas extractoras, pozos sumideros y canaletas de desagote (Fig. 8).



.  
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.

Fig. 8

#### **A. 19. 3. 4. Vientos**

La incidencia de los vientos sobre las rutas de cables aéreos, torres de antenas o toda instalación exterior expuesta a su acción, se debe principalmente a su componente de carga horizontal, de intensas velocidades y muchas veces acompañada de fuertes vibraciones. Estas ráfagas de viento provocan roturas, desprendimiento y/o caída de instalaciones. También las caídas de elementos ajenos a la planta, como ramas de árboles o circuitos eléctricos, pueden causar importantes daños en ella.

En los diseños, para prever estos efectos se crean áreas categorizadas por valor de su intensidad y de ocurrencia. Su confección parte de estudios estadísticos. Estas zonas se podrán diferenciar en tres categorías A, B y C.

En cada una de ellas, los proyectos se acondicionan con materiales acordes a su mejor funcionalidad y seguridad aportada. Por ello, se aplicará en cada una, un estancar de materiales y método de construcción acorde. Así, se emplearán tipos de madera, duras o blandas, gruesas o finas; herrajes de soporte; tensiones de rotura de los suspensores; tipos de anclajes, contra tormenta; diferentes estructuras reforzadas de postes; longitudes límites de vanos; etc., conforme a cada exigencia climática.

El grupo A, podrá corresponder a zonas urbanas o suburbanas edificadas, en donde las instalaciones se hallan de por sí, relativamente protegidas. La intensidad de los vientos en estas zonas es baja, no excediendo de 80 a 100 Km/h.

El grupo B, podrá corresponder a zonas rurales. La intensidad de los vientos aquí es intensa.

El grupo C corresponde a zonas rurales en donde además del viento inciden la influencia de cargas producidas por hielo y nieve.

Los cables autosoportados, forma 8, presentan por efecto de fuertes vientos transversales, un frente expuesto mayor que un cable devanado por ofrecer una pared transversal mayor (Fig. 9), esto aumenta el riesgo de roturas, desperfectos en los circuitos, incluso caída de los ramales aéreos. Ello afecta aún mas en zonas con influencia de fuertes ráfagas de viento.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 9

También las vibraciones producidas por el viento provocan la fatiga del material, en su unión al suspensor, rasgándolo. Para disminuir su incidencia, se rota el cable 4 ó 5 vueltas sobresimismo en un vano, disminuyendo así, la superficie de la pared presentada al viento. Otro método aplicable, es el de proveer a la sujeción de un herraje soporte móvil, como puede ser el uso de una cadena suspendida, lo que anula el esfuerzo generado sobre el mismo.

### **A. 19. 3. 5. Nieve**

Las cargas originadas por deposición de nieve sobre las instalaciones suspendidas aéreas, crean un sobrecosto, debido a la implementación de elementos constructivos de diseño especial. La sujeción de los cables y la infraestructura, debe diseñarse teniendo en cuenta su afectación.

En zonas donde se forman capas de nieve de 2, 3 o mas metros de altura sobre el nivel normal del piso, obliga a disponer de instalaciones, como ser postes o armarios de subrepartición, mas robustos y de mayor altura.

Las medidas protectivas a disponer, a fin de anular sus efectos, están en relación directa al perjuicio potencial que se ocasionaría. Estas medidas consisten en el diseño correcto y la elección apropiada de los materiales, métodos constructivos y de seguridad a utilizar.

Un buen diseño consistirá en la minimización de costos y efectos, tales como el uso de cables, armarios, pedestales y acometidas enterradas. Para ello, es útil instalar triductos flexibles y pequeñas cámaras ciegas de registro.

### **A. 19. 3. 6. Salinidades**

En zonas industriales o cercanas al mar, la atmósfera reinante, está cargada de partículas abrasivas como ser, sales, sulfuros o amoníacos, los que provocan alta corrosión de los metales y maderas o acelerada degradación en los aislamientos de las instalaciones expuestas.

En áreas linderas al mar, existen materias orgánicas o plantas marinas que al descomponerse producen bacterias aeróbicas que consumen gran cantidad de oxígeno, generando sulfuro de hidrógeno.

Este sulfuro es arrastrado por vientos húmedos que descomponen los plásticos de las cubiertas de los cables y sus conductores, bornes de las cajas terminales, alambres y cables suspensores y conductores, enmoheciéndolos y por fin cortándolos.

Estudios estadísticos, indican que la ocurrencia de averías producidas en áreas cercanas hasta 100 m del mar, tienen un porcentaje del 100 %, mientras que dentro de los 500 m, es del 70 %.

Las medidas a adoptar son la galvanización reforzada por inmersión doble, los tratamientos con pinturas epóxi o plastificados protectores especiales. Igualmente es eficaz el uso de elementos recubiertos con cobre, Copperweld o de aleaciones que presenten alta resistencia a la corrosión. Los cables tipo PAL re-llenos con gelatinas del petróleo (petrolatos) evitan la acción del sulfuro de hidrógeno.

### **A. 19. 3. 7. Exposición solar**

Los rayos del sol, están compuestos por luz visible, ultravioleta e infrarroja, los que en distintas formas originan degradaciones de los materiales que constituyen la planta externa, sobremanera a los plásticos, policloruro de vinilo o polietileno, de las cubiertas de cajas o de cables.

La acción de los rayos ultravioleta se relaciona con reacciones de oxidación del polietileno, que lo degrada por descomposición de la cadena molecular de carbonos. La lluvia, el calor y la humedad actúan como catalizadores del plástico acelerando el proceso, cambiando sus propiedades físicas, disminución de la viscosidad y tensión mecánica.

La luz y el calor solar descomponen al PVC, en cloruro de hidrógeno, oxidándolo con el aire, produciendo la separación molecular, que lo transforma en un material sumamente frágil.

El efecto térmico hace cambiar el color solo a la parte expuesta de un elemento, mientras que el efecto de los rayos ultravioleta toma lugar en la zona expuesta extendiéndose luego a su totalidad. Este efecto se produce tanto en las cubiertas de los cables como en los mismos ductos, cuando estos se hallan instalados suspendidos de los laterales de puentes, y expuestos al sol. El negro de humo incorporado a estos, actúa como estabilizador, impidiendo su acción destructiva.

En zonas tropicales, los ductos de PVC colocados en puentes, deberán ser instalados dentro de tubos de aluminio o hierro galvanizado, sin costura interna, bajo una protección que actúe como sombrilla, permitiendo la suficiente radiación de calor, del cable y ducto (Fig. 10 ).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

.Fig. 10

### **A. 19. 3. 8. Terremotos**

Los movimientos sísmicos producen vibraciones, cortes en el terreno que causarán graves daños en las instalaciones o desprendimientos de plantel exterior. Las medidas que disminuyan estos daños se refieren al diseño de la red y métodos de instalación, pues ningún elemento podrá salvar sus perjuicios.

Las redes de cables aéreos reducen el efecto producido instalando cables de menor capacidad en pares, postes de baja altura, de vanos menores y con mayor cantidad de anclajes. Los cables directamente enterrados son los menos afectados.

Las torres para radioenlace serán con base de amplia superficie en planta y de baja altura.



### A. 19. 3. 11. Insectos, roedores y aves

En determinadas regiones, especialmente en áreas rurales los roedores, insectos y aves u otros tipos de animales, producen importantes daños a los cables aéreos o enterrados y a los postes de madera. Las especies perjudiciales mas dañinas son dentro de las:

- a) aves: pájaros carpinteros u horneros;
- b) insectos: escarabajos, abejorros, polillas, cigarras;
- c) microorganismos: bacterias, hongos;
- d) roedores: ratas, tucu-tucu, ardillas, murciélagos, liebres.

A fin de aplicar la estrategia más conveniente es necesario en primer término investigar el agente causante del daño; observar si existen arañazos, orificios y partes roídas o mordeduras.

Los roedores dañan a los cables con cubiertas de plomo o de polietileno tratando que se desgasten sus caninos, los que en su crecimiento desmesurado dañarían a su paladar. Las aves por otra parte, en su búsqueda de larvas o insectos, perforan la madera de los postes.

Las medidas protectivas a desarrollar se deben referir al reemplazo de los elementos expuestos por otros reforzados, de ser posible se tratará instalarlos menos expuestos, o utilizar cubiertas protectoras, pinturas o repelentes vegetales como la creosota o químicos como sales, o venenos. La utilización de venenos tiene los inconvenientes de ser peligrosos en su manipuleo, son caros de duración reducida, pues pierden efecto por acción de lluvias o de los rayos solares, además tienen características de prohibido por razones ecológicas.

Los cables con blindajes de láminas corrugadas, cintas o alambres de acero, deberán disponer de una capa interna de polietileno adicional, estanca al agua, con el fin de que, aún dañando los roedores la capa externa llegando al blindaje no perjudiquen al núcleo (Fig. 12).



Fig. 12

En áreas afectadas por larvas de polillas u otros insectos, las que puedan producir graves daños, deben instalarse anillos protectores a los postes de madera (Fig. 13 ).



Fig. 13



### **A. 19. 3. 12 Descargas atmosféricas**

Al diseñador de las redes de planta externa, le es necesario tener un conocimiento básico de los comportamientos de las descargas atmosféricas: rayos, relámpagos, efectos debidos al desplazamiento de las nubes y los métodos conceptuales a proveer, como prevención o protección, aplicados a sus diseños y construcción de las redes.

El estudio de los efectos de las descargas y sus consecuencias es en sí un tema complejo con disímiles tratamientos y teorías no compartidas universalmente. Tampoco las medidas protectivas son generalizadas, considerando cada país y administración normas muy diferenciadas.

Debido a esto, se incluye el desarrollo resumido del tema, no obstante ello indicamos que para el tratamiento especializado, de requerirse confeccionar normas, efectuar compras o diseños de elementos específicos de protección, se debe recurrir a la bibliografía especializada

Las descargas eléctricas entre nubes, denominadas relámpagos o entre nube y tierra, llamados rayos, producen graves daños a las instalaciones de telecomunicaciones.

En una descarga directa de rayo, la circulación de corrientes, por pantallas de blindajes de los cables, sus conductores y suspensores, durante algunos microsegundos origina sobretensiones de suficiente valor como para sobrecargar los dieléctricos de los aislantes de los cables y equipos de líneas, causando apreciables daños físicos, inmediatos o no, a los elementos de la planta, a los operarios que actúan en ella y / o usuarios.

Los rayos, producen destrucción por carbonización, de los elementos afectados directamente. Los elementos próximos son dañados por efectos de la ionización del área, originada por el campo eléctrico generado en la atmósfera, causando picaduras en las cubiertas de los cables.

Las descargas indirectas, de rayos o relámpagos, crean sobretensiones en las líneas aéreas, incluso subterráneas, próximas a ese punto. La superficie afectada puede ser grande, en zonas de elevada resistividad del suelo, que no disipen la energía del impacto.

La afectación producida, depende no solo de la energía liberada, sino de la topología del suelo y de la cercanía con otras instalaciones existentes: ductos metálicos, rieles, edificaciones y estructuras, antenas, pararrayos, etc.

Las descargas a tierra son arcos eléctricos de gran intensidad, del orden de 20 KA, que podrán llegar a tomar valores de hasta 200 KA. Las tensiones que se desarrollan en las instalaciones, dependerán de los valores de impedancia que presente a la propagación del frente de onda y del valor de la resistencia de difusión hacia el suelo, en su toma de tierra. Las tensiones típicas están entre 100 KV y 1 MV.

En áreas metropolitanas, sus efectos sobre la planta son casi nulos, debido al efecto blindante de la edificación y estructuras hierro y hormigón existentes.

Por el contrario las zonas denominadas expuestas se refieren a poco edificadas, rurales y sobretodo las áreas montañosas con suelo rocoso o volcánico.

En ciertas áreas el mayor porcentaje de averías se producen en el aparato del abonado, particularmente en sus descargadores y fusibles protectores, si los poseyera.

#### **Génesis de las descargas**

En meteorología se diferencian diversos tipos de nubes, cada uno con su característica propia. Uno de estos tipos es el denominado cúmulus nimbus, responsable de las tormentas eléctricas. Estas nubes se forman por el calentamiento del aire húmedo, condensado cuando toma cierta altura y presión, al sufrir el fenómeno de expansión adiabática. Están compuestas por un conjunto de células, llamados nimbus.

Una de las teorías de producción de las descargas eléctricas se basa en el movimiento de desplazamiento de las nubes y polarización de las partículas dentro de ésta. Al condensarse el vapor de agua se forman gotas de agua en suspensión. Si estas gotas toman mayor volumen o varios grados bajo cero, forman una cáscara de hielo y pierden estabilidad y se precipitan.

En la atmósfera existe un campo eléctrico dirigido hacia la superficie terrestre. La tierra presenta a cada gota un potencial negativo, luego cada gota toma un valor de carga positivo en su parte inferior y negativo en su parte superior.

Durante su caída, como lluvia, rechaza a los iones positivos que encuentra a su paso desplazándolos hacia la parte mas alta de la nube y captura a los iones negativos arrastrándolos hacia la parte mas baja de la nube (Fig. 14).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 14

De tal forma se crea una fuerte carga diferenciada dentro de la nube. Así carga-da, actuando como un dipolo eléctrico, en presencia de la superficie terrestre conductora, creará una conformación de líneas de un campo eléctrico (Fig. 15).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 15

Este campo tiene líneas de fuerza ascendente por debajo y líneas descendentes en ambos lados de la nube. Debido a ello un observador ubicado en un punto de la superficie terrestre, registrará al paso de una nube, primero un valor  $+E_1$ , como valor del campo eléctrico producido, luego un valor  $-E_2$  y al finalizar el pasaje de la nube, medirá un valor de  $+E_3$  (Fig. 16).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 16



Estas variaciones de cargas generan en las redes e instalaciones de telecomunicaciones corrientes vagabundas inducidas. También la concentración de cargas negativas en su base origina diferencia de potencial entre diferentes partes de la nube o entre nubes. Cuando se superan los valores de rigidez dieléctrica en que se encuentran, se produce una descarga eléctrica. Estos fenómenos se denominan relámpagos.

Las nubes pueden tomar diferencias de potencial de cientos de MegaVolt, que pueden superar la rigidez dieléctrica nube - tierra, dando lugar a descargas entre ellas, las que llamamos rayos.

Las descargas a tierra están formadas generalmente, por un número de descargas parciales, siendo la primera la mas ramificada e importante. En un punto inferior de la nube, cargada fuertemente de potencial positivo, se produce una descarga descendente hacia el suelo cuya cabeza avanza progresivamente a saltos. Esta es la primera fase del rayo, llamada descarga piloto, la que abre un camino ionizado que deja preparado el trayecto para que se produzca una des-carga ascendente que es la descarga principal.

Cuando la cabeza de la descarga piloto llega a una distancia del suelo de 10 a 50 m, sale del suelo desde el punto mas favorable, prominencia, árbol, etc., una descarga ascendente de gran luminosidad. Mediante este proceso la carga descendente queda compensada con la ascendente de signo contrario dando lugar a una gran intensidad de corriente durante ese corto período.

En estas condiciones pueden producirse entonces, nuevas descargas procediendo de otros puntos de la nube, siguiendo generalmente el mismo camino pero ahora sin ramificaciones (Fig. 17) que dan lugar a sucesivas descargas ascendentes, hasta que se transfiere a tierra, el total de cargas de la nube en un proceso de descarga continuo (Fig. 18).



Fig. 17



Fig. 18

Al abrirse el camino en el aire, de la descarga piloto, se produce un calentamiento instantáneo de las moléculas que encuentran a su paso, lo cual motiva una violenta expansión del aire y la consiguiente compresión del aire en la capa más próxima. Esto origina una onda sonora que se expande, llamada trueno.

Ocasionalmente se producen descargas ascendentes u otras formas de descargas en forma de bolas eléctricas luminosas.

La Organización Meteorológica Mundial, estudia el mecanismo y frecuencia de ocurrencia de las tormentas. Se llama nivel cerámico de un lugar, al número de días de tormenta eléctrica al año, como media de al menos 5 años.

En la región ecuatorial puede tomar el valor de 200, mientras que otras regiones tienen un valor menor a uno. La frecuencia de las descargas a tierra como promedio mundial es de 15 por cada 100 Km<sup>2</sup> y por día de tormenta.

### **Clasificación de las descargas**

Los rayos son impulsos eléctricos transitorios que ocurren y se extinguen en lapsos muy breves, de millonésima de segundo. Pueden tener el carácter de descargas sucesivas, ocurriendo en muchos casos decenas de impulsos durante una sola descarga.

A causa de la gran rapidez con que crecen y extinguen y a su carácter repetitivo los rayos pueden definirse como impulsos eléctricos de alta frecuencia, por ello debe considerarse a las líneas bajo el concepto de impedancia.

Las descargas atmosféricas las podremos clasificar como:

- a) Impacto directo de rayos sobre las instalaciones aéreas. Sus efectos son de destrucción en el punto del impacto por carbonización o choque de la elevada onda eléctrica. La onda de choque se propaga hasta los equipos.
- b) Descarga de rayo en las proximidades de la red aérea, enterrada o subterránea, generando una onda en la red y propagándose por ella.
- c) Descarga de relámpagos inducen tensiones instantáneas en forma de onda de choque sobre las líneas situadas por debajo de estas formaciones de nubes, propagándose.

Las averías en las mismas redes se presentan como numerosas perforaciones sobre los aislantes y la pantalla de blindajes. Se debe comprender los requerimientos de protecciones eficaces instalados en el repartidor general de la central, pero también en el domicilio del abonado y distribuidas convenientemente en la red, pues es en esta zona donde se originan las sobretensiones indeseables.

### **Formas de onda**

Determinar el grado de vulnerabilidad de los equipos y efectuar la correcta elección de los dispositivos protectores, dependerá del mejor conocimiento de las características del fenómeno perjudicial.

Tales características pueden analizarse estudiando la forma de la tensión de choque del impulso de sobretensión de una descarga. Este análisis se podrá realizar estudiando los parámetros (Fig. 19):

- a) Polaridad: sentido de la descarga, positivo o negativo;
- b) Tensión de cresta: valor máximo que toma la onda;
- c) Forma de onda: relación entre el tiempo en que la onda llega al valor máximo y el tiempo en que decrece hasta el valor mitad, del de cresta.

Analicemos los valores de una onda de sobretensión, mediante un ejemplo:



Fig. 19

Polaridad:	positiva
Tensión de cresta:	8 kV
Forma de onda:	8 $\mu$ S / 20 $\mu$ S

El frente de onda esta representado por la velocidad del crecimiento. Se observa como la pendiente de ascenso inicial. Valor típico dado por 1 KV / 1  $\mu$ S.

**Efectos producidos sobre la red**

Las influencias debidas a descargas de rayos o relámpagos en la red de telecomunicaciones se manifiestan como interferencias que se propagan hasta los equipos terminales del abonado y de los de transmisión y conmutación en la red o en la central.

Estadísticas mundiales nos indican que las fallas en los equipos de conmutación son causadas principalmente por sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, principalmente por inducciones debidas a relámpagos.

Estudiaremos por separado los efectos producidos sobre cada tipo de red:

a) Líneas abiertas

La intensidad de la corriente de una descarga, sobre una línea de hilos desnudos y que es derivada a tierra a través de la disrupción de sus aisladores y descargadores, depende del punto de contacto del mismo con la línea (Fig. 20).



Fig. 20

Si la descarga cae próxima a un extremo con descargador, en una distancia igual o menor a 300 m, es muy probable que el total de la energía se derive a tierra. Si la línea es de gran longitud, la impedancia de la línea determinará la derivación efectiva a tierra.

Al aumentar el número de los hilos instalados, la impedancia del haz disminuye, al igual que la intensidad que pasa por cada conductor.

En la Tabla 5 se indica la variación de la impedancia de sobretensión  $Z_G$  en relación al número de conductores en la línea, la relación entre la intensidad de la corriente en una línea de n conductores  $I_n$ , respecto de una línea con conductor único  $I_1$ , y la correlación entre la intensidad media por conductor de un haz  $I_C$ , respecto a la intensidad de la corriente de una línea de conductor único  $I_1$ .

TABLA 5

.  
. .  
. . .  
. . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .

La impedancia de sobretensión es mayor cuando la descarga a tierra se realiza en condiciones que el suelo no es perfectamente conductor. Al aumento de resistividad del suelo le corresponde una disminución de la pendiente del frente de onda. El frente de onda del rayo, también llamado frente de choque, presenta una frecuencia entre 30 y 100 KHz.

Para los aisladores mas utilizados (vidrio pírex o porcelana), el arco se forma entre los 30 y 80 KV, de forma que a cierta distancia del punto de impacto la tensión del conductor con relación al suelo está limitado entre estos valores, pa-rra una descarga directa o sobre el hilo de guarda.

b) Cables aéreos

La rigidez dieléctrica de los aislantes, así como el diámetro de los conductores de una ruta de cable aéreo, hacen que ella resulte mas vulnerable respecto a las líneas abiertas. Las sobretensiones provocan perforaciones en las aislaciones, mientras que las sobrecorrientes, la fusión de los conductores.

Si la instalación se realiza mediante un suspensor externo compuesto de hilos de acero o si está montado por debajo de una línea de distribución de energía eléctrica y si dispone de una correcta descarga a tierra, se considera que dispone de una cierta protección a las descargas atmosféricas.

La cubierta metálica o pantalla de blindaje con puestas a tierra correctas, hace que el núcleo del cable no se encuentre afectado por los campos electrostáticos originados por la atmósfera.

Por el contrario si el cable dispone de puestas a tierra en solo ambos extremos, la central y final de ruta, y la descarga se produce en las cercanías de uno de estos extremos, la totalidad de la corriente circulará a lo largo de la pantalla del cable.

Si entra por su punto medio, se divide el recorrido en dos caminos, por consiguiente, se considera el efecto producido, según la mitad del valor de la corriente eléctrica de descarga.

La corriente de la descarga que circula por la pantalla produce en la superficie interna de ésta, un pico de diferencia de potencial, entre la cubierta y los conductores. Esta tensión puede rebasar la rigidez dieléctrica del aislamiento del núcleo y produce una descarga disruptiva que lo daña.

Si la descarga disruptiva no se produce en el punto del impacto, la corriente circulará a lo largo del cable atenuándose sin producir diferencias de potencial (ddp), longitudinal ni transversal, es decir sin causar daños en puntos alejados.

Esto se consigue si la continuidad eléctrica de la pantalla es la apropiada y sobretodo si dispone en su recorrido de elementos protectores disipativos a tierra.

Si la pantalla de la cubierta presenta discontinuidades eléctricas o desadaptaciones, mala continuidad o desacoplamiento, a lo largo del recorrido del cable, pueden aparecer reflexiones de la onda del rayo y grandes aumentos de tensión, que provocan interrupciones en distintos puntos alejados del lugar del impacto. Ello provoca posteriores fallas difíciles de ubicar y reparar.

Cuando la interrupción se produce en el punto de impacto y con tal efecto que alcance a los conductores, la corriente de descarga circulará a su vez por la pantalla y el núcleo de pares, creando una ddp longitudinal y otra transversal, provocando en conectores de empalmes o aislantes con bajos valores dieléctricos averías o faltas.

#### c) Cables subterráneos o enterrados

Los fenómenos dados en cables aéreos se repiten en forma análoga cuando los cables son instalados en canalizaciones o en enterrado directo. Estos cables son afectados por descargas de rayos incluso cuando caen a distancia considerable de ellos.

La tensión de choque formada entre los conductores y la pantalla del cable, es determinada por distintos factores:

- Amplitud de la corriente de descarga,
- Forma de la onda,
- Impedancia de transferencia de la cubierta del cable,
- Resistividad del suelo,
- Ubicación del punto de impacto,
- Factor reductor de ductos y otros servicios próximos.

Cuando la cubierta del cable esté constantemente en contacto con el suelo o a través de un revestimiento, por ejemplo, de yute húmedo, éste absorberá parte de la corriente de la descarga y la disipará progresivamente a lo largo del cable en las zonas más favorables, por ejemplo bajo resistividad del suelo o cercanías a otras estructuras metálicas enterradas, impidiendo el daño al cable.

Si la cubierta se ha aislado de tierra mediante un tubo plástico (subducto o canalización), la distorsión del campo eléctrico en el suelo es menos pronunciada, por lo que en los puntos cercanos al impacto se concentra toda la tensión. Si se rebasa la rigidez eléctrica de la cubierta aislante, se produce la perforación del tubo y cubiertas plásticas, sin necesidad de que la descarga alcance directamente al cable.

Las perforaciones podrán ser múltiples, lo que podrá, aún en el caso que se haya dañado la pantalla, permitir el paso de la humedad, lo que provocará con el transcurrir del tiempo, la afección por corrosión, en la misma.

#### d) Líneas abiertas conectadas a cables

En las uniones de los hilos desnudos con los cables se instalan descargadores entre hilos y entre cada conductor y tierra, a fin de que en caso de producirse una descarga de un rayo sobre la línea abierta, la sobretensión no dañe al cable y a los equipos conectados a él.

No obstante ello, las sobrecorrientes no absorbidas por los descargadores pasan al interior del cable produciendo una ddp longitudinal o transversal, con daños en los conectores, aislación de conductores o del núcleo de pares y la pantalla de la cubierta.

Un potencial y tiempo de ruptura del descargador no concordante con las admisibles por el cable, causan averías en éste, por lo que deben estudiarse estos valores, a la vez que las puestas a tierra deben ser implementadas correctamente.

#### e) Otras instalaciones

Cuando el rayo se descarga sobre una torre soporte de antena o pararrayos, la intensidad de esta corriente produce una ddp muy elevada, respecto a la impedancia que presenta la puesta a tierra de la central.

En el caso de un cable con su pantalla no conectada al sistema de tierra de la torre, la ddp aparece localizada entre esta pantalla y todas las partes metálicas que pertenecen al mencionado sistema.

Cuando la cubierta está conectada al sistema de tierra, la referida tensión aparecerá entre los conductores y la cubierta.

En regiones donde el suelo presenta mala conductividad, dicha tensión puede alcanzar valores tan elevados, que superen el valor de rigidez dieléctrica de los aislamientos del cable, entre conductores y entre estos y pantalla metálica, así como de los equipos a él conectados.

Cuando el rayo cae en un elemento de la planta, no conductor, se desprende una energía en forma de calor, del que resulta el calentamiento y evaporación del agua contenida, produciéndose quemaduras e incluso carbonización, asimismo debido a la presión generada extremadamente alta se obtendrá rajaduras, aplastamientos o grietas. Poste, cables coaxiales o canalizaciones pueden presentar efectos similares a los producidos por el estallido de un poderoso explosivo.

Como medidas protectivas, tendremos que mantener:

- los cables al mismo potencial de tierra (blindajes, suspensores, riostras, etc.)
- el uso de descargadores de gas, en el repartidor general, el domicilio del abonado, cajas terminales y en las vinculaciones de los cables con las líneas abiertas, si las hubiese,
- la separación adecuada con otras instalaciones que pudieran guiar la descarga.

Especial atención debe prestarse a los árboles elevados y a sus raíces para los diseños de cables enterrados. Una buena práctica será, en estos casos, extender un cable de acero o cobre sobre el cable, como guía a fin de aumentar el efecto de blindaje del mismo.

En la central, una única puesta a tierra con la mayor efectividad, es lo mas conveniente para la protección de edificio, equipos y redes.

## A. 19. 4. Fenómenos artificiales

### A. 19. 4. 1. Vibraciones subterráneas

Las vibraciones causadas en el terreno, por servicios de terceros, afecta principalmente a los cables de enterrado directo, a las canalizaciones y sus cables canalizados. También pueden dañar a los instalados engrampado en puentes.

El tránsito vehicular causa vibraciones que producen desplazamiento de ductos y cables, en su misma dirección. Las fuerzas longitudinales crean tensiones longitudinales que resultan en desprendimientos de uniones de ductos y cables en sus soportes y empalmes.

Las vibraciones pueden crear rozamientos entre conductores originando malos aislamientos y / o cortocircuitos de las líneas. Asimismo los conductores sufren desplazamientos en sus aislamientos o movimientos que aflojan los conectores de los empalmes.

En cualquier punto de rigidez mecánica, por ejemplo en cualquier empalme, se pueden producir separaciones o cortocircuitos y ligados entre conductores y/o entre conductores y el blindaje metálico del cable.

Estos efectos se hacen mas apreciables en instalaciones suspendidas en puentes o en zonas de terrenos no compactados, tales como agrícolas, arenales, o fangosos.

Como método de precaución se puede considerar las de diseño: cambiando la traza del proyecto, adoptando zonas donde no ocurran o disminuyan las incidencias de altas vibraciones, o como método constructivo proveyendo protectores mecánicos, como ser paredes separadoras de aislamiento, ductos externos, losetas o canaletas de protección.

Debe de estudiarse la dirección y el sentido de la fuente de perturbación interponiendo el elemento separador mas apropiado.

Se podrán utilizar elementos elásticos o no rígidos de sujeción como ser empaquetaduras de caucho, topes o soportes de goma (Fig. 21) para ductos, cámaras o puentes que amortiguarán los efectos dañinos. Las cañerías podrán construirse con ductos flexibles de PVC, acondicionadas en base de arena, mientras que las cámaras podrán ser de hormigón armado de construcción monolítica.

Fig. 21



Fig. 21

Se deberá respetar el radio mínimo admisible de curvatura de los cables.

**A. 19. 4. 2. Excavaciones efectuadas por terceros**

Las excavaciones efectuadas por otras empresas de servicios como ser distribuidores de agua potable, de energía eléctrica, aguas pluviales, cloacas o gas, como así por terceros, pueden ser efectuadas con grandes maquinarias perforadoras que degradan las instalaciones subterráneas linderas.

Esto incrementa el número de averías y el potencial de su ocurrencia con el correspondiente desembolso oneroso, a fin de mantener el buen estado de funcionamiento de los servicios de telecomunicaciones.

Las medidas a considerar son:

- Investigar los planes y detalles de los proyectos de otros servicios,
- Efectuar el intercambio de información rápida y oportuna con otros servicios,
- Utilización planificada de los espacios del subsuelo con otros servicios,
- Programar las obras en conjunto con otros servicios,
- Especificar en los planos del proyecto los obstáculos e instalaciones existentes en el subsuelo,
- Prever acciones de prevención y precaución antes de efectuar las obras subterráneas,
- Disponer asistencia permanente en obras,
- Proveer señalización adecuada de las instalaciones subterráneas baldosones, carteles, cintas, ladrillos indicadores, enterrados (submarinas) o superiores.

### **A. 19. 4. 3. Ondas radioeléctricas**

Las interferencias originadas por inducciones de ondas radioeléctricas, sobre las redes de alambres desnudos, cables aéreos o de manzana degradan la calidad de transmisión, hasta en algunos casos incomunicar la comunicación.

Estas ondas radioeléctricas son generadas por antenas transmisoras de emisoras comerciales de ondas largas, medias o cortas de amplitud modulada (AM), como de las de frecuencia modulada (FM), o las de banda ciudadana.

En los circuitos de frecuencias vocales, las ondas inducidas son detectadas y demoduladas por los componentes no lineales del aparato telefónico, o por la capa de óxido metálico que se forma en los empalmes del conductor. Estas interferencias se presentan casi siempre como ruido inteligente, por lo que son aún más perjudiciales. Pueden afectar hasta un radio de aproximación superior a 5 Km en torno a la antena transmisora, cuando disponga una potencia de emisión de varias decenas de KW.

Cuando las longitudes de los tramos de las líneas de telecomunicaciones aéreas, sobretudo los alambres de acometida del abonado, son comparables a ciertas longitudes de onda emitidas, estos tramos actúan como antenas receptoras a esas frecuencias. De esta manera, el abonado escucha superpuesto a la comunicación, esta onda irradiada.

En los circuitos de transmisión que utilizan ondas portadoras, las ondas radiofónicas inducen interferencias consistentes en un tono puro ininteligente pero que reduce el valor de la relación señal / ruido admisible a la buena calidad de transmisión.

El nivel de interferencia depende del valor de la resistividad del suelo, el tipo de instalación y cable utilizado. También de la intensidad, la frecuencia y fase de la onda radiada, además del desequilibrio de los circuitos de telecomunicaciones.

Los medios para reducir estos efectos se refieren a utilizar efectivas:

- cubiertas de cables con pantallas de blindaje apropiados (materiales y espesores), mínimo lámina de aluminio de 0.20 mm,
- continuidad del blindaje,
- conexión del blindaje a tierra,



- transposición sobresimismo de los pares en cables y alambres de acometida,
- inserción de un capacitor de 0,05 a 0,10  $\mu\text{F}$  entre los conductores y tierra en los bornes del repartidor general o en el domicilio del abonado, con el fin de derivar la corriente de la onda inducida.

La pantalla de blindaje con un espesor de 0,20 mm logra reducir las interferencias en 70 dB, mientras que con un espesor de 1 mm se obtiene una reducción adicional de 50 dB.

Tanto los empalmes como los cables deben contener correctas pantallas de blindajes, conectadas a tierra. En algunos casos también se debe proveer blindajes en armarios y / o cajas terminales. Raras veces se observan estas interferencias en instalaciones subterráneas.

Otras medidas, con carácter de diseño, se podrán adoptar:

- cambiar la traza del recorrido de la ruta proyectada, separándola con un elemento adecuado al caso o disponiendo alejarla de la fuente perturbadora,
- cambiar el método constructivo (aéreo por subterráneo), en el proyecto,
- reducir la distancia entre repetidores, aumentando así el valor de la relación señal / ruido.

Recopilación de recomendaciones propuestas por el CCITT, a interferencias inducidas por ondas radioeléctricas sobre sistemas de telecomunicaciones, se muestran en la Tabla 6.

#### **A. 19. 4. 4. Gases tóxicos**

Las emanaciones de gases nocivos, producen efectos de corrosión sobre los materiales y sobretodo provocan efectos de peligro para los operarios.

El gas natural ( en base a gas propano o metano ), es causante de graves accidentes, explosiones o muertes por asfixia en cámaras de registro.

Fugas de gases de fábricas como ser amoníaco, sulfuros solventes, acetona, o alcohol, son de sumo perjuicio a instalaciones y personal de operaciones.

También la corrosión de plásticos o metales, producen degradaciones o agrietamientos de postes, anclajes, cajas, alambres suspensores, etc.

Las medidas protectivas o preventivas se refieren a:

- utilizar materiales estables, por ejemplo plásticos de mayor peso molecular,
- asegurar el radio mínimo de curvatura de los cables,
- conservar las instalaciones limpias y libres de agentes contaminantes,
- efectuar los taponamientos de las entradas de los ductos vacantes y ocupados, en cámaras de registro y galerías de cables.

En la Tabla 7 se resumen las características de los distintos gases, causas que los originan, sus efectos y los métodos para la detección a emplear en cada caso.



## **A. 19. 5. Corrosión**

Se denomina corrosión al efecto de destrucción de un metal debido a fenómenos naturales químicos o artificiales electroquímicos. Es la interacción del metal con su medio circundante, donde pasa del estado elemental al combinado. Se entiende por estado combinado, a la situación estable natural, a menudo como forma de óxidos.

La ferretería de la red de telecomunicaciones, anclas, barras, alambres suspensores, soportes, como así las cajas terminales, armarios, postes, conductos, etc. pueden ser construidos de distintos materiales metálicos, hierro, zinc, plomo, aluminio, etc. protegidos con capas galvánicas, sea por procesos de electrólisis o de inmersión en caliente. Con las condiciones y cambios atmosféricos la ferretería y su protección tienden a la situación primitiva, es decir óxido. El metal desde el punto de vista termodinámico es inestable. Si óxido fue en un principio, tiende a convertirse en óxido.

Las instalaciones enterradas de la planta tales como cables, cañerías, torres, postes, etc. o submarinas como ser cables y repetidoras son rápidamente corroidas y destruidas en muchos casos si no se les prevé la protección adecuada.

En la planta externa los considerables gastos que ocasiona la localización de las averías en sus instalaciones, las interrupciones del servicio y la menor calidad de los cables reparados, indican la importancia de una protección adecuada contra los distintos tipos y causas de la corrosión

Son frecuentes los daños causados en las redes aéreas próximas al mar, por la alta saturación salina de los vapores contenida allí en el aire. También los vapores ácidos y humos de las zonas fabriles degradan rápidamente a las instalaciones: rutas aéreas, torres de antenas o edificios.

Con la utilización de plásticos, metales anticorrosivos, pinturas epóxi y la aplicación de los métodos apropiados a cada caso, anulamos o disminuimos sus efectos.

## **A. 19. 5. 1. Clasificación de los procesos de corrosión**

Es posible clasificar los procesos de corrosión según la forma de su proceso o su mecanismo de reacción.

### **Clasificación por su forma**

Cuando se requiere evaluar los daños producidos por la corrosión, resulta conveniente la clasificación según sus formas.

#### a) Corrosión uniforme

En el caso de corrosión uniforme el ataque se extiende en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y su penetración media es igual en todos los puntos.

Este tipo de fenómeno es la forma más benigna de corrosión (Fig. 22), sus ejemplos típicos son la oxidación del hierro y el empañado de la plata.

Su efecto se puede medir como penetración anual del ataque, mm / año o por la pérdida de peso del metal atacado, miligramos por decímetro cuadrado por día.

#### b) Corrosión en placas

En este caso el ataque se extiende más en algunas zonas, pero se presentan aún como ataque general (Fig. 23).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

### c) Corrosión por picado

En la corrosión por picado el ataque es localizado en pequeñas áreas de su superficie, la cantidad de material afectado no guarda relación con la magnitud del daño que puede causar.

Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficie metálica pasiva y se propaga hacia el interior del metal, en ocasiones formando túneles microscópicos (Fig. 24). El grado del ataque producido está indicado por la profundidad del mismo.

### d) Corrosión en rendijas

La corrosión en rendijas es una variación de la corrosión por picado, se presenta en uniones e intersticios donde la renovación del medio corrosivo sólo puede producirse por difusión (Fig. 25).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 24

Fig. 25

### e) Agrietamientos

Este caso se refiere a metales inmersos en un medio corrosivo y sujeto a esfuerzos de tracción, tanto continuos como alternados.

## A. 19. 5. 1. 2. Clasificación según su mecanismo

### a) Corrosión química

En la corrosión química la combinación del metal con el medio alcalino o ácido que lo rodea, se realiza por reacción directa ( oxidación directa ), los átomos metálicos reaccionan químicamente con la sustancia agresiva.

En estas reacciones interviene activamente el oxígeno, participando además la humedad, ácidos y soluciones salinas, e incluso gases y vapores. Las altas temperaturas contribuyen a la aceleración de los procesos.

Si con la oxidación se forma una capa densa consistente, como sucede en el cobre y el aluminio, esa capa actúa contra el progreso de la reacción química. Si por el contrario se forma una capa suelta o porosa, no se obtiene efecto protector alguno.

La calidad del suelo y de sus aguas hace a la mayor actividad de la corrosión subterránea.

### b) Corrosión electroquímica

La corrosión electroquímica se debe a la formación virtual de pilas electroquímicas. En éstas el metal afectado (  $Zn$  ) sufre disolución en las regiones anodinas, creándose una corriente galvánica a través de un líquido electrolito ( ácido sulfúrico diluido ), que fluye a la superficie metálica catódica (Fig. 26).

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 26

La corrosión del metal depende del potencial electroquímico de ambos metales. La serie galvánica de tensiones (Tabla 8) nos permite establecer la relación de metales resistentes a la corrosión (metales nobles) y de los metales menos resistentes (metales humildes). Se toma al magnesio como referencia de potencial cero Volt.

Según la teoría de la ionización, cuando los ácidos, bases o sales se disuelven en agua se dividen en partículas, con cargas positivas y negativas, a las que se les denominan iones. Así como en un conductor metálico son los electrones los transportadores de cargas y es el movimiento de éstos, lo que se detecta como corriente eléctrica, en un electrolito son los iones positivos y negativos los que cumplen esta función.

TABLA 8

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Si a través de la solución (electrolito) pasa una corriente eléctrica, los iones con carga positiva se mueven en dirección hacia el cátodo, mientras que los que disponen de cargas negativas van hacia el ánodo. La superficie anódica es corroída, en un proceso que los átomos metálicos ceden electrones a otros átomos con cargas negativas. El metal pasa a la solución como ion negativo.

Por otra parte la superficie catódica permanece relativamente inmune al ataque. Se crea así una circulación de corriente eléctrica, destructiva para uno de los metales puestos en juego.

Un ejemplo de este proceso está dado en el efecto producido por las corrientes vagabundas, presentes en el terreno. Denominando como corrientes vagabundas aquellas corrientes eléctricas que saliendo de un circuito, para el cual estuvieron diseñadas, circulan por el terreno y al encontrar un elemento conductor lo aprovechan como camino de menor resistencia. Estas corrientes circularán por las instalaciones, hasta que encuentren nuevamente un menor valor resistivo para su recorrido. En este punto de salida de la corriente se origina el desprendimiento del material, es decir el metal y el aislante se corroe, con lo que se dañan, produciéndose picaduras o fisuras.

Se puede tener en cuenta el fenómeno que se presenta cuando una corriente vagabunda circula por una instalación enterrada o una de sus partes (tubería, cable coaxial, torre de antena) y se enfrenta con un aislador el que separa el elemento conductor en distintas secciones. En estos casos la zona inmediata anterior al aislador se perfora por efectos de desprendimiento de material en cuanto la corriente abandona el conductor en ese punto, para reingresar luego de sobrepasar al aislador.

Estos fenómenos son comunes en proximidades de trenes eléctricos y subestaciones de energía eléctrica, ya que las corrientes buscan regresar a estas estaciones generadoras (Fig. 27).

.  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .  
. . .

Fig. 27

En los sistemas de alimentación eléctrica para los servicios de tranvías o ferro-carriles, se adopta el retorno de las corrientes por tierra, utilizando sus rieles. Los trenes en marcha generan así potenciales variables según su posición y las distancias a sus estaciones de energía eléctrica.

Las áreas cercanas a las líneas de ferrocarriles se designan como de peligro a los efectos electrolíticos, dependiendo su grado de peligrosidad del sistema de alimentación, cantidad de líneas de trenes y proximidades. Estas áreas podrán disponer apartamientos de hasta 2 km o más.

Como las corrientes de fuga fluyen a través de los suelos, circulando por los terrenos, ríos, mar e instalaciones de menor resistencia, sus efectos están su-jetos a las situaciones y condiciones geográficas.

La temperatura y humedad son factores necesarios para lograr las reacciones electroquímicas, por consiguiente sus valores son esenciales a los fenómenos de corrientes subterráneas vagabundas. Sin embargo cuando se alcanza una cierta profundidad en el terreno, disminuye el efecto debido a la disminución proporcional de oxígeno, también factor necesario para lograr la corrosión.

### c) Corrosión por contacto de metales diferentes

Este tipo de corrosión ocurre en las superficies de contacto entre dos metales de diferentes potenciales electroquímicos, pues se produce un efecto de pila galvánica entre ellos al perderse su equilibrio.

Por ejemplo este efecto se producirá en los contactos bimetálicos cobre y aluminio.

## A. 19. 5. 2. Métodos de protección

Los distintos métodos de protección se basan en prever en el diseño, las mejores trazas, que logren los apartamientos necesarios o en su impracticabilidad de proveer los medios protectivos adecuados.

En la planta externa la corrosión química se intensifica por la acción de las corrientes eléctricas propias de la transmisión (baterías locales). Los medios mas simples para evitar los efectos de la corrosión química, serán los de utilizar efectivos recubrimientos aislantes.

La corrosión debida a efectos electroquímicos afecta mayormente a los cables subterráneos. Esto se refiere a que se comportan como conductores de retorno a las corrientes vagabundas cedidas por los ferrocarriles, tranvías o trolebuses con tracción eléctrica.

Las daños por corrosión dependerán de aislamientos adoptados, la distribución de las corrientes de fuga, al voltaje aplicado, los tramos de alimentación, la resistencia de la tierra, existencia de otras instalaciones, etc.

Las medidas de protección a utilizar, para evitar la corrosión electroquímica, en la planta externa se referirán a:

- uso de cable y cierres de empalmes con cubiertas plásticas,
- recubrir los cierres de empalmes con pinturas epóxi,
- cortar las vías conductoras de corriente eléctrica seccionándolas con elementos aislantes,
- neutralizar o invertir la polaridad entre el cable y tierra. Se utilizan placas de zinc de alto poder electrolítico o sistemas de tierra de magnesio que actúe como ánodo, incrementar la resistencia a tierra mediante jabalinas conductoras y / o redes.

### **Tratamiento previo de las superficies**

Cuando se trata de aplicar un recubrimiento protector sobre una superficie metálica, es imprescindible someterla con anterioridad a un tratamiento mecánico, químico o físico que asegure una correcta adherencia.

#### a) Procedimiento químico

- Disolventes. Extrae las grasas. Se emplea como tratamiento previo a otros métodos. Puede utilizarse benzol o tetracloruro de carbón ( tóxicos ).
- Álcalis disuelta en agua. Se aplica en caliente para disolver aceites o grasas. Puede utilizarse hidróxido sódico, fosfato trisódico, metasilicato de sodio, carbonato de sodio o bórax. Debe ser neutralizado su efecto alcalino, luego de ser aplicado.
- Vapor. Debe aplicarse a presión añadiendo a los procedimientos detergentes. Permite llegar a zonas de difícil acceso.



- Ácido ortofosfórico. Se aplica una solución de ácido ortofosfórico que contiene disolvente de aceites y grasas. Además elimina la capa superficial de óxido. Produce un principio de ataque al metal dejando una superficie rugosa.
- Decapado. El decapado químico consiste en la aplicación de soluciones acuosas y de ácidos minerales como el ácido sulfúrico o clorhídrico. Eliminan los óxidos.

#### b) Procedimiento mecánico

La limpieza de las superficies metálicas se pueden realizar mediante herramientas manuales como ser cepillos de acero, cinceles, martillos, etc. También con herramientas accionadas por motor eléctrico o neumático, con llama reductora mediante soplete.

La limpieza por chorro a alta presión, de 3 a 9 atmósferas, de partículas abrasivas. Generalmente se utiliza arena sílice, granalla de hierro o de acero. La granulometría utilizada depende del material y elemento a limpiar.

### **Recubrimiento protectivo**

Los recubrimientos protectivos podrán ser metálicos por inmersión o electrolíticos, también capas de pinturas epóxi podrán ser efectivas para cajas terminales o cierres de empalmes.

Para su estudio podemos dividir a los métodos de recubrimientos en metálicos, orgánicos e inorgánicos.

#### a) Recubrimiento metálico

Uno de los procedimientos de recubrimiento metálico, se refiere al efectuado como metálico noble. Se denomina noble a un recubrimiento metálico cuando lo es respecto al metal base que debe proteger. Debido a esta condición se crean pilas galvánicas protectoras. Para este método se requiere una mínima cantidad de poros y lo mas pequeños posible, para lograr esto, se debe rellenar previamente los existentes con una laca orgánica u otro metal que se funda e incorpore al mismo.

Otro de los procedimientos de recubrimiento metálico, se refiere al denominado de sacrificio. Están constituidos por metales menos nobles según la serie de potenciales, por lo cual se origina una pila galvánica en la que la dirección de la corriente es de afuera hacia adentro.

Para el recubrimiento del hierro se emplean metales mas activos, por ejemplo zinc, cadmio o cromo. Presentando estos comportamiento anódico y aportando protección catódica al hierro.

Al recubrimiento electrolítico con zinc se le denomina electrocincado, mientras que al realizado por inmersión en caliente se lo llama galvanización.

Los recubrimientos electrolíticos son mas dúctiles que los obtenidos mediante inmersión, además se consiguen capas intermedias de aleaciones del zinc y del hierro.

La duración de un recubrimiento de zinc depende casi exclusivamente de su espesor. En contacto con el agua de mar el zinc presenta una buena resistencia efectiva para la protección del hierro, representando cada 0,025 mm. de espesor, un año de vida protectora.

#### b) Recubrimiento orgánico

Se entiende por recubrimiento orgánico a las protecciones mediante pinturas, lacas, barnices, resinas o plásticos. Estos, al estar expuestos al aire sufren reacción química por lo que solidifican.

Las pinturas están formadas por pigmentos suspendidos en vehículos orgánicos. Los pigmentos son por lo general compuestos óxidos metálicos o sales como cromatos, sulfatos o carbonatos. Los vehículos son resinas sintéticas.

Las lacas contienen aceites secantes y desecantes volátiles, mientras que las lacas contienen disolventes.

Las resinas sintéticas pueden tener base de fenoformaldehído, vinílicas o del tipo epóxi.

Los recubrimientos plásticos pueden ser en base a polietileno, cloruro de vinilideno, neopreno, tetrafluoretileno (teflón), etc. Este último en particular es hidrófugo, es decir, repelente del agua. Su elección se realiza de acuerdo a la función a realizar por el elemento en estudio. Algunos se podrán utilizar enterrados, como ser para cierres de cajas de empalmes, otros solo aireados.

### c) Recubrimiento inorgánico

Para los recubrimientos inorgánicos tenemos los efectuados por esmaltes vítreos, de porcelanas, de cemento portland o por transformación química.

Los esmaltes vítreos se depositan sobre el metal a proteger, en estado pulverulento y en un horno se logra la unión al metal base, por efecto de su elevada temperatura. Tienen la propiedad de ser resistentes al ataque de ácidos o álcalis. Su inconveniente radica en su alta fragilidad mecánica.

Los recubrimientos de cemento Portland se efectúan a cañerías y tanques para depósitos. Los recubrimientos se refuerzan mediante alambres, varillas o mallas metálicas. Su ventaja radica en su costo y disponer de la misma coeficiente de expansión que el hierro.

Los recubrimientos por transformación química se obtienen por formación de una capa protectora mediante la acción de un ácido concentrado como ser ácido sulfúrico a cubiertas de plomo o ácido fluorhídrico en metal hierro. El anodizado, tratamiento electroquímico, ayuda pero no es por si solo un medio protectivo.

### d) Otros mecanismos protectivos

Otros mecanismos protectivos preventivos se implementan en la forma de:

- Drenaje selectivo. En este caso se instala un diodo rectificador conectado entre el elemento perturbado (cable coaxial telefónico) y el elemento perturbador (rieles). Este elemento proporciona un camino para la corriente que fluye desde el cable al riel, previniendo la dirección contraria (Fig. 28).

.  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .  
. .

Fig. 28

- Ánodo de sacrificio. El ánodo de sacrificio permite que salga la corriente por ese elemento concentrándose el desprendimiento de material en ese punto de fuga (Fig. 29), evitándose así la corrosión de las instalaciones.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 29

- Unión de aislación. Este método radica en cortar mediante un aislador (resina epóxi) el camino de las corrientes vagabundas en las instalaciones a proteger.
- Drenaje forzado. En este método se introduce una fuente de corriente continua a la instalación a proteger, de manera que toma potencial eléctrico suficiente para evitar el drenaje de corriente de las instalaciones de telecomunicaciones al terreno.

La desaeración, aleaciones resistentes, desactivación, uso de inhibidores o pasivadores, son otros métodos de defensa.

## A. 19. 6. Inducción eléctrica

Las instalaciones servicio y el personal de telecomunicaciones son susceptibles de sufrir influencias perjudiciales originadas por acoplamientos capacitivos, inductivos o galvánicos por intermedio de las tierras, creados por las cargas eléctricas transportadas por causantes naturales, artificiales o combinación de ambos.

Se podrá observar circunstancias de efectos por acciones simultáneas, sin embargo para su estudio se toman como efectos independientes.

Las cargas eléctricas generadas y transportadas por las nubes y sus descargas entre ellas o tierra, producen efectos de inducción. Su tratamiento se desarrolló en el punto A. 19. 3.12. de este capítulo.

Las inducciones debido a proximidades con estaciones radioeléctricas se analizaron en el punto A. 19. 4.3. de este capítulo.

Los procesos de corrosión y sus métodos de protección han sido tratados en el punto A. 19. 5.

Trataremos aquí las influencias combinadas por líneas de transporte, tracción o distribución eléctrica.

Las perturbaciones pueden tener el carácter de peligro para sus operarios, las propias instalaciones, para sus clientes o a terceros. También podrán tener el carácter de ruidos, que degraden la calidad del servicio, afectando la transmisión y la señalización de las telecomunicaciones.

El acoplamiento capacitivo se origina en los campos electrostáticos generados por las cargas eléctricas que portan las líneas de energía; los acoplamientos inductivos por efectos de los campos magnéticos creados en sus proximidades y los acoplamientos galvánicos, por contactos directos con estas líneas o debido a fugas por aislaciones defectuosas.



.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 31

En este caso se ha generado una diferencia de potencial (ddp) transversal en-tre los conductores ( y de los conductores contra tierra ). Si conectamos en sus extremos sendas impedancias Z, se observará la circulación de corriente a tierra en ambos sentidos (Fig. 32).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 32

Esta corriente originará efectos de ruido a los usuarios, en sus receptores o de peligro a los operarios, en las redes. Si las cargas inducidas son lo suficiente-mente grandes se podrán producir descargas que dañarán la aislación de las instalaciones. Estos efectos se podrán anular mediante descargadores a tierra y / o entre los conductores, colocándolos en la central o en la misma red.

En un paralelismo de líneas inductoras de carga V e inducidas de potencial inducido Vc, ésta será proporcional a la carga V, al valor de capacidad entre ellos y entre ellos y tierra. Tal capacidad será a su vez proporcional a la longitud de paralelismo y a la distancia de sus separaciones (Fig. 33).

$$V_c = C \cdot V = \frac{C_{pc}}{C_{pc} + C_c} \cdot V$$

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 33

## A. 19. 6. 2. Inducciones electromagnéticas

La teoría electromagnética nos dice que si una corriente eléctrica circula longitudinalmente a través de un conductor suspendido en el espacio libre, se origina un campo magnético alrededor del mismo. Si sumergimos en este campo otro conductor lineal moviéndolo de forma que las líneas de fuerza del mismo sean cortadas, una fuerza electromotriz (fem) será inducida, en concordancia con el cambio de densidad de ese flujo magnético (Fig. 34).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 34

La misma experiencia de crear una fem inducida se observará, si mantenemos los conductores sin movimiento, pero variamos la corriente en el conductor inductor. Ello se debe a que, variada ésta, variamos el campo magnético creado y sus líneas de fuerza cortarán al conductor inducido.

Este fenómeno se denomina inducción electromagnética y estará presente entre líneas de energía eléctrica y líneas de telecomunicaciones. En este caso se han creado ddp longitudinales sobre los conductores. Si se conectan en sus extremos sendas impedancias Z, se observará la circulación de corriente en un solo sentido (Fig. 35).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 35

La relación entre las fuerzas electromotrices inducidas (e), y la variación del flujo (  $\phi$  ) respecto al tiempo, está en relación directa con el valor de la inductancia mutua entre las líneas de energía y de telecomunicaciones y con la variación de la corriente que fluye en la línea de potencia eléctrica.

$$e = \frac{d\phi}{dt} = -M \frac{di}{dt}$$

La intensidad del campo electromagnético es proporcional a la corriente de re-torno por tierra de la línea de energía y también al valor de resistividad del suelo. Si la resistencia del suelo es menor, también será menor la intensidad del campo eléctrico inducido.

### A. 19. 6. 3. Factor de apantallamiento

Cuando se presente la situación en que una línea de energía afecte a una de telecomunicaciones, podremos disminuir sus efectos perjudiciales disponiendo una tercera línea llamada de tierra, la que actuará como pantalla de blindaje.

El grado de eficiencia que se logra mediante este blindaje se expresa mediante un factor llamado de apantallamiento ( k ).

Las líneas de telecomunicaciones a su vez, deberán tener en los casos de proximidad y paralelismo, una muy buena cubierta en sus cables, provista de un eficiente blindaje contra las ondas electromagnéticas perturbadoras.

Tal blindaje podrá estar constituido por una o dos capas metálicas. Una de ellas captará las ondas magnéticas por ello será construida de acero (hierro) y la otra buena conductora a las cargas eléctricas, deberá ser de cobre o aluminio, ambas conectadas efectivamente a tierra.

Para líneas menos expuestas, solo podrá disponer de una sola pantalla de aluminio; en este caso el espesor de la lámina metálica no deberá ser inferior a 0.20 mm. En caso de cables subterráneos o de enterrado directo, también afectados por un paralelismo dado, los blindajes a su vez serán protectores de paso de la humedad o el ataque de roedores, por ello se adoptará la construcción mas acertada para cada caso.

El factor de apantallamiento k esta dado por la relación entre las fuerzas electro-motrices ( fem.) inducidas V sin blindaje y la fem. inducida V' cuando se dispone de blindaje.

$$k = \frac{V'}{V} 100 \%$$

De esta expresión podemos deducir que un factor de menor valor, es mas efectivo, pues obtiene una mejor protección, V' es menor.

Un conductor ubicado cercano a las líneas inducidas actúa agregando valores de capacidad a tierra (Fig. 36), en la expresión del potencial electroestático inducido, disminuyendo su valor.

Para inducciones electrostáticas el valor de Cc será expresado por la relación

$$C' = Cc + Cg \dots\dots$$

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 36

El suspensor de un cable aéreo con una eficaz puesta a tierra obtiene valores de  $k = 0,1$ .

Edificaciones de hormigón armado cercanas a las líneas de telecomunicaciones obtiene valores de  $k = 0,5$  es decir que el valor de fem. inducido se reduce a la mitad del que tuviese si no existiese edificación.

En este caso, campo electrostático, los hilos de tierra, como blindajes contra sus efectos son mas efectivos cuando disponen de mayor cantidad de puestas a tierra.

En la eventualidad de campos electromagnéticos, a fin de contrabalancear sus efectos es necesaria la puesta a tierra sobre los extremos de la línea de telecomunicaciones y del hilo de blindaje, tal que contrarreste la dirección de la corriente inducida.

Sea un sistema de paralelismo con hilo de tierra (Fig. 37), si  $I_1$  es la corriente eléctrica en la línea de energía y  $E_{12}$ ,  $E_{13}$ , las fem inducidas en las líneas de telecomunicaciones y blindajes respectivamente, ambas tendrán polaridades en igual dirección.

A su vez  $E_{13}$  creará una corriente sobre la línea de blindaje que fluye a tierra  $I_3$ , la que a su vez crea una fem. inducida en la línea de telecomunicaciones  $E_{23}$ . Como esta fem. tiene una diferencia de fase de  $180^\circ$  respecto a  $E_{12}$ , cancelará a ésta por ser de similar valor.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 37

Veamos la comparación de los efectos causados por los campos electrostáticos y los campos electromagnéticos.

Según se trate del tipo de línea expuesta, su sistema de protección, el tipo de línea inductora y su régimen de fallas, será predominante el campo eléctrico o magnético.

Sin embargo en general, la potencia generada por inducción electromagnética es mucho mayor que la creada por efecto electrostático, por lo tanto deberán ser mayores las medidas protectivas a tomar respecto a los campos electromagnéticos generados.

La influencia de cada campo en el caso de una fase a tierra depende del valor de la corriente de falla y la longitud de paralelismo.

Las transposiciones efectuadas tanto en línea inducida como inductora disminuirán los efectos, al igual que los blindajes, aterramientos y sistema de protectores. Es conveniente distribuir aterramientos con separaciones menores a 1 km.

Los valores de tensiones inducidas por campos eléctricos o campos magnéticos se diferencian también según sus relaciones de separaciones entre líneas paralelas (Fig. 38).

.  
.





### **Fuerzas electromotrices de peligro**

Las tensiones longitudinales pueden ser inducidas durante la operación normal del servicio de transporte o distribución de energía eléctrica. Se presenta como una onda básica a lo largo de la línea de telecomunicaciones, mediante corrientes de retorno a tierra. Esta tensión de valor relativamente bajo degrada la calidad de la transmisión. Para transmisión de datos, los errores introducidos pueden hacer a un servicio inaceptable.

El estudio de los efectos de las tensiones y corrientes inducidas y de los valores protectivos a adoptar dependen de una variedad de parámetros y consideraciones a establecer.

Sus consecuencias son en sí un tema complejo con disímiles procedimientos preventivos. Cada país y administración norma su tratamiento diferenciado.

Debido a esto, se incluye el desarrollo resumido del tema como ilustración para el proyectista, no obstante ello indicamos que para el tratamiento especializado, de requerirse confeccionar normas, efectuar compras o diseños de elementos específicos de protección, se debe recurrir a la bibliografía especializada

Podemos distinguir la situación de peligro por sus efectos o por sus causas, como ser contacto directo, por inducción o choque acústico.

Los causales directos se podrán salvar previendo en los proyectos los apartamientos o separadores necesarios.

Los choques acústicos pueden afectar a los empalmadores, electricistas y operadores, sin embargo actualmente los aparatos receptores están provistos con dispositivos protectores que suprimen los mismos.

Las corrientes y tensiones generadas en líneas de telecomunicaciones por inducción pueden provocar distintos tipos de daños:

- deterioro del aislamiento de cables, equipos de conmutación y de transmisión;
- lesiones al personal, usuarios o terceros por descargas eléctricas o acústicas;
- interrupción del servicio;
- degradación de la calidad de transmisión.

Las tensiones y corrientes inducidas admisibles, establecidas como peligrosas para el cuerpo humano han sido estudiadas en muchos países con resultados disímiles, no siempre reconocidos universalmente.

La Tabla 10 resume un estudio realizado en la Universidad de California, referente a los efectos de la corriente aplicada sobre el cuerpo humano

Asimismo, los valores considerados como peligrosos, difieren en mucho según los casos: estado del cuerpo humano, resistencia de contactos establecidos y trayectos tomados por la corriente en el mismo.

El CCITT define los valores de las tensiones consideradas como peligrosas, según vemos en la Tabla 11.

En la Tabla 12 se muestra en resumen las consideraciones definidas por distintas reglamentaciones de varios países, valores límites y medidas a ser tomadas.





- no fibrilantes
- admisibles
- ..... recomendación CCITT

Distintas publicaciones de organismos internacionales nos indican las protecciones necesarias de disponer para la protección del personal y el equipo.

La UIT nos indica la impedancia de la fuente de energía, la resistencia del cuerpo humano y el trayecto que toma la corriente en él, los cuales combinados afectarán en distinto grado a la vida humana.

La Organización Internacional del Trabajo ( OIT ) ha especificado como tensiones peligrosas a 50 V<sub>ef</sub> en corriente alterna, 110 V en corriente continua.

Sin embargo el peligro inherente a la tensión, no se limita a los casos de electrocución, sino que un choque eléctrico es suficiente para provocar la fibrilación del corazón o una reacción muscular involuntaria que produzca la caída de un operario desde una escalera, poste o plataforma, ocasionando un accidente de mayor gravedad.

Publicaciones médicas establecen las reacciones del cuerpo humano a la corriente eléctrica:

1 mA	Umbral de percepción
5 mA	Dolor suave
10 a 20 mA	Contracción muscular no controlada
50 mA	Daño físico Incapacidad de soltar los conductores eléctricos
100 a 300 mA	Fibrilación ventricular La respiración aún continúa
5 a 10 A	Contracción del corazón Parálisis respiratoria - Quemaduras

Ni los efectos de la tensión ni de la corriente por si solo son definatorios, sino lo es, la interacción de ambos y en el tiempo de duración de ocurrencia del efecto.

Podemos inferir que para efectos del campo eléctrico variable, se debe considerar como límite el de 15 mA, como corriente inducida máxima de descarga, para una persona que esté simultáneamente en contacto con los conductores de la línea de telecomunicaciones y tierra ( CCITT ).

A efectos del campo magnético se puede definir como valor límite a 60 V de tensión máxima inducida.

En cuanto al campo electromagnético, deberemos diferenciar dos casos:

- Línea inductora en condiciones normales de funcionamiento. Para ella se establece un valor límite de 60 V como fuerza electromotriz longitudinal inducida

- Línea inductora en régimen de cortocircuito de una fase a tierra. Para este caso los límites a fijar, dependen de las temporizaciones de las protecciones de la línea de energía ( Tabla 13 ).

## TABLA 13

.  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .  
 .

Para las líneas normales de servicio, el tiempo de operación de las protecciones debe estar comprendido entre 200 y 500 ms, fijándose para este caso el valor máximo de tensión inducida 430 V.

Se designan como líneas de gran seguridad las que cumplen ciertas exigencias: cantidad de defectos reducidos y el tiempo de operación de las protecciones debe ser igual o menor a 200 ms. Tienen neutro a tierra o están equipados con resistencias limitadoras de bajo valor, que reducen el valor de la corriente de cortocircuito, en el caso de falta a tierra

En lo que respecta a los elementos de los equipos, con líneas de telecomunicaciones que disponen de componentes electrónicos de estado sólido, las tensiones longitudinales inducidas, aún de valores de 15 V, pueden causar graves daños a éstos.

El desequilibrio de las fases de una línea de energía en cuanto se produce una falla en una de sus fases, produce una fuerte corriente inducida sobre las líneas de telecomunicaciones.

Estas corrientes pueden llegar hasta 10 kA. Si tuviéramos hilos descargadores paralelos, podrían éstos absorber esta corriente, total o parcialmente.

En lo que respecta a las líneas de tracción, para su análisis deberemos diferenciarlas de acuerdo a su sistema de alimentación.

Las primeras técnicas utilizadas se referían a la alimentación por tercer riel y zapata de toma, con tensiones de 750 V en corriente continua.

Este sistema coexistió con el método de toma por cable aéreo con contacto por pantógrafo, denominado por catenaria.

Actualmente tanto para trenes de velocidad media urbanos o rápidos de larga distancia se opta por el sistema de catenaria, al poseer estas mayores eficiencias en la transmisión de la energía, con menores corrientes de fuga.

Por catenaria se puede utilizar corrientes continuas con altas tensiones de 1500 a 3000 V, mientras que en su alimentación, tensiones de hasta 60 kV a frecuencia de 50 Hz (Fig. 40).

.  
 .  
 .  
 .

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 40

Toda descarga de arco produce emisión electromagnética de gran ancho de banda con interferencias a transmisiones de radio, televisión y microondas. Se puede admitir para ferrocarriles, una tensión máxima inducida de 300 V.

El cálculo de las influencias efectuado por las líneas de tracción y la determinación de sus valores admisibles son muy complejos en cuanto los trenes estén alimentados por corrientes alternas de alta tensión. En los casos de líneas de transporte de energía teníamos la probabilidad de una falla, en las influencias atmosféricas la probabilidad de descarga, mientras que su equivalente en las líneas de tracción lo será, el arranque simultáneo de las máquinas, según su posición.

Estos se basan sobre las distintas posibilidades dinámicas, las posiciones de las máquinas de tracción respecto de los transformadores auxiliares, su sentido de circulación, los tramos entre transformadores de retorno y la cantidad de vías y trenes con accionar simultáneo, todo respecto a las secciones expuestas que nos interesan. Además, se deberá contemplar los efectos de pantalla de otros conductores y los rieles. En realidad su cálculo solo se podrá efectuar mediante el auxilio de computadoras.

En cuanto a sistemas de tracción alimentados por corriente continua, nuestra preocupación debe centrarse en los efectos corrosivos producidos por las corrientes de fuga.

Mientras que para corriente alternada se recomienda puestas a tierra de resistencia baja, en los sistemas de alimentación con corriente continua se recomienda conectar las estructuras al carril y aislarlas suficientemente del suelo (CCITT).

En su caso, se debe utilizar diodos de potencia, con gran capacidad y direccionalidad de drenaje, o técnica de dispersores con jabalinas o redes catódicas. Las instalaciones de telecomunicaciones, según el sistema empleado por los trenes, deberán ser aisladas mediante cubiertas plásticas, de fibras de vidrio o pinturas epóxi y alejar sobremanera sus puestas a tierra, evitando así los efectos corrosivos y las corrientes parásitas que podrán causar peligro o ruidos.

Para ciertos tipos de líneas eléctricas de tracción, las separaciones recomendadas son a distancias mayores a 50 m, con estudios de blindajes, puestas a tierra y descargadores colocados a 300 m.

### **Fuerzas electromotrices de perturbación**



La tensión de ruido es originada por ondas fluctuantes de altas frecuencias, en la fuente de inducción y por desbalance entre los circuitos de telecomunicaciones y tierra.

La forma de onda y la fase de la corriente transportada por una línea de energía eléctrica, distorsionada en ciertas condiciones de carga, lo que origina armónicas.

Cuando estas armónicas de corrientes coinciden con el rango de frecuencia vocal, sus corrientes inducidas causan ruido en las líneas de telecomunicaciones con disminución de la calidad del servicio.

Los valores límites permisibles de las tensiones inducidas que producen ruido, medidos en los terminales de entrada de un aparato telefónico que disponga de una resistencia no inductiva de  $600 \Omega$ , ponderada de acuerdo al CCITT, se muestra en la Tabla 14. En general la fem sofométrica total admisible debida a inducción, debe ser igual o menor a 1 mV.

Debido a que las distintas frecuencias actúan con diferentes sensibilidades en el oído humano y en los aparatos receptores telefónicos, cuando estimamos en ruido por tensiones inducidas, cada componente de frecuencia debe ser pesado en distinta forma. Aplicamos por ello distintos factores de ponderación e integrando luego la sumatoria resultante. El valor hallado será el valor de tensión de ruido sofométrico. Este valor puede ser obtenido en forma directa mediante un medidor de ruido provisto de un ecualizador sofométrico.

TABLA 14

.  
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.

El factor de ponderación se aplica según la respuesta del oído a los distintos valores de frecuencias (Fig. 41, recomendación CCITT), mediante un ecualizador de ondas apropiado.

.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.

Fig. 41

La fem sofométrica total ( $e_T$ ) inducida por los campos eléctricos ( $e_{pe}$ ) y los campos magnéticos ( $e_{pm}$ ), resulta de la relación:

$$e_T = \sqrt{e_{ped}^2 + e_{pes}^2 + e_{pmd}^2 + e_{pms}^2}$$

Donde	$e_{ped}$	eléctrico directo
	$e_{pes}$	eléctrico disimétrico
	$e_{pmd}$	magnético directo
	$e_{pms}$	magnético disimétrico

### A. 19. 6. 5. Cálculo de la corriente límite de descarga a tierra

Es necesario que las administraciones u operadores de empresas de telecomunicaciones calculen la corriente límite admisible por sus líneas, que se puede producir por fallas en las líneas de energía eléctrica, a fin de tomar los recaudos de diseño constructivos y de precauciones preventivas.

Para garantizar la seguridad del buen servicio es necesario que los acercamientos entre las líneas satisfagan ciertas condiciones a fin de reducir los riesgos a valores admisibles.

Trataremos la marcha de los cálculos necesarios de efectuar en los casos de proyectos cuyas trazas se desarrollen paralelas a línea de transporte de energía eléctrica.

Este cálculo se refiere al valor límite de la corriente eléctrica de descarga a tierra debido a inducción electromagnética producida por fallas en una línea de transporte de energía eléctrica.

Si de los cálculos obtenemos una corriente límite de descarga a tierra de 5 A, éste deberá ser el valor máximo a soportar por las protecciones y el mismo definirá las normas de seguridad a emitir, trazas del proyecto, materiales y métodos constructivos.

Si el caso real fuese mayor, deberá coordinarse con la empresa distribuidora de energía las soluciones a los posibles casos de peligro o de ruido.

Tanto en proyectos de rutas a construir como de plantas existentes se evaluará los sobrecostos considerando las aproximaciones y se actuará en relación con las normas legales vigentes a fin de solventar el costo o el pago de estos.

El valor de la tensión inducida  $V$ , está dado en relación a la expresión:

$$V = 2 \pi f M l k_1 k_2 k_3 I$$

Donde:

$V$	tensión inducida	[ Volt ]
$f$	frecuencia	[ Hz ]
$M$	inductancia mutua entre las líneas de energía y telecomunicaciones, a la frecuencia $f$	[ $\mu$ Henrio / km ]
$l$	longitud de la sección de paralelismo	[ km ]
$k_1$	factor de apantallamiento de la línea de energía	
$k_2$	factor de apantallamiento de la línea de telecomunicaciones	
$k_3$	factor de apantallamiento de otras instalaciones (cañerías para agua, cloacas, vías, estructuras)	
$I$	corriente inductora por descarga a tierra	[ kA ]

La inducción mútua  $M$  ( $\mu$ H / km) puede obtenerse de las curvas dadas por el CCITT, para una frecuencia de 50 Hz (Fig. 42). En su aplicación se debe conocer la resistividad del suelo  $\rho$  ( $\Omega$  m) y la separación  $d$  ( m ) mas comprometida de las líneas, en su longitud de paralelismo.





.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 44

Una sección oblicua se asimila a un paralelismo de distancia  $d$ , mediante la relación

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

Siempre que se cumpla

$$\frac{1}{3} < \frac{d_1}{d_2} < 3$$

Cuando no se cumpla esta condición debe subdividirse en dos o más secciones

$$\frac{d_1}{d_3} \text{ y } \frac{d_3}{d_2}$$

Cuyos límites cumplan la condición.

En caso de cruce se definen los puntos M' y N', situados a 10 m de la línea eléctrica (Fig. 45).

Las secciones MM' y N'N se tratará como sección oblicua.

Si  $\alpha > 45^\circ$  la sección M'N' se considera despreciable.

Si  $\alpha < 45^\circ$  se trata como un paralelismo de separación igual a 6 m.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 45

Como ejemplo podremos hallar la corriente límite de descarga a tierra, obtenida despejando de la expresión de tensión inducida. Para ello se podrá tomar, si fuese el caso para una línea de energía de alta confiabilidad, el valor normalizado admisible de 650 V.

## A. 19. 6. 6. Análisis de inducciones sobre la red

Los sistemas de tracción de energía eléctrica, alimentación de trenes eléctricos en servicio y las líneas de transporte de energía eléctrica de alta tensión, por fallas en alguna de sus fases, provocan corrientes asimétricas de grandes valores, que circulan por estas líneas de energía. Estas corrientes inducen sobre-tensiones en las líneas de telecomunicaciones adyacentes.

Las fallas en las líneas de alta tensión producen sobretensiones que pueden llegar hasta varios kV, con duraciones de 200 a 1000 ms o mayores, según el sistema de eliminación de fallas utilizado por las líneas de energía.

Las fallas a tierra en las líneas de energía producen corrientes en el suelo que provocan sobrelevación de los potenciales en el suelo. Los valores de estas sobretensiones pueden ser del orden de 5 V o mayores. En el primer caso éstas podrán dañar a los sistemas de señalización de las telecomunicaciones.

Para valores superiores, se podrán provocar daños en las aislaciones de los cables o equipos.

Las líneas de tracción eléctrica en algunos sistemas de alimentación, cuando se hallan ubicadas paralelas a las líneas de telecomunicaciones crean sobre éstas por inducción, sobretensiones aún hasta en separaciones de varios kiló-metros.

También los contactos directos con líneas de energía aún en media o tensión de distribución provocan sobretensiones que originan circulación de corrientes indeseadas.

Las corrientes que no son derivadas a tierra afectarán a los cables, equipos o al personal. Estos contactos eléctricos se producen en cuanto no se respetan las separaciones normadas entre líneas, incrementándose tales fenómenos por e-efectos del viento, nieves o tormentas.

En los cables de pares simétricos de cobre ( multipares ) la diferencia de potencial ( ddp ) producida por la corriente de choque de una descarga de una línea de alta tensión, como en la de un rayo, creada entre la pantalla de blindaje del cable y cada uno de los pares de su núcleo, tiene teóricamente el mismo valor , debido a que éstos son diseñados eléctricamente simétricos.

Sin embargo en la práctica por disponer el cable de cierta asimetría debida a que en su fabricación puede presentar pequeñas irregularidades en el diámetro de los conductores, espesor de los aislamientos y diferentes resistencias eléctricas en los conectores de los empalmes, se crearán diferentes ddp. longitudinales y transversales.

Si los materiales no representaran estas pequeñas fallas que harán evidente con el pico de tensión de la descarga, la rigidez eléctrica del cable soportará esta ddp, que se disipará en su recorrido.

En cables que dispongan de circuitos con frecuencias de portadoras y conexiones a descargadores, se producirán mayores ddp., lo que podrá producir grupos de pares con fallas a tierra.

Para los cables asimétricos, es decir que contengan pares coaxiales corresponderán iguales consideraciones que para los cables multipares, sin embargo para estos casos, se podrán presentar dos situaciones diferenciadas:

- a) el conductor exterior tiene el mismo potencial que la pantalla de la cubierta;
- b) el conductor exterior está aislado de la pantalla de la cubierta.

Debido a las distintas impedancias de cada uno de los conductores, exteriores e interiores, los desbalances podrán tomar valores considerados, sin embargo de acuerdo a su diseño podrán soportar apreciable ddp., disipándola en el recorrido de los tubos coaxiales.

En cuanto a los cables compuestos por fibras ópticas los hay con suspensor y/o pantalla metálica o totalmente dieléctricos. Se recomienda el uso de estos últimos pues su condición de dieléctricos les

permite ubicar cercanos a las líneas de energía eléctrica sin que se produzca inducción alguna. Incluso se podrán instalar sobre las torres de alta tensión, generalmente en la ubicación del hilo de guarda.

## **A. 19. 7. Protecciones**

Los efectos eléctricos, dañinos a la red de telecomunicaciones, originados en fenómenos naturales como ser rayos, relámpagos o por desplazamientos de las nubes, y los derivados de fenómenos artificiales como los inducidos por líneas de transporte, distribución o tracción eléctrica o por simple contacto con ellas, son onerosos a las empresas de telecomunicaciones.

Los efectos de peligro a instalaciones, al personal de operaciones o mantenimiento o las perturbaciones por ruidos en la transmisión, como así en los tiempos fuera de servicio, crean grandes desembolsos de dinero.

Por ello un eficiente medio de protección debe ser previsto. La mayor protección se obtiene manteniendo en el diseño a las instalaciones suficientemente alejadas de los elementos perturbadores. Sin embargo esto no siempre es posible o representa mayores gastos, que el de disponer elementos de protección apropiados a la red.

Por ello deberemos estudiar cuales son los tipos dispositivos a emplear para obtener un correcto sistema de protección, cuando y como emplearlos.

### **A. 19. 7. 1. Definiciones**

Se denomina ruptura dieléctrica de un descargador de gas, a la acción de descarga en el espacio interelectrodos.

Se denomina cebado del gas, al valor asignado de tensión dada como ruptura dieléctrica.

Se denomina corriente de choque de las descargas, al valor de cresta de impulso de corriente. Los dispositivos protectores a descargas, son dimensionados a los valores de la corriente de choque, definidos al tiempo de su exposición.

Se denomina tensión transversal, en un punto de un conductor, al valor de ddp. originada allí, por el paso de una corriente de descarga.

Se denomina drenaje, al proceso de filtrado de las corrientes inducidas, generalmente por armónicos impares, producidas por líneas de energía eléctrica, cercanas paralelas.

### **A. 19. 7. 2. Dispositivos de protección**

#### **Fusibles**

Estos elementos tienen por finalidad impedir la circulación de sobrecorrientes, en función de protección. Se instalan en serie con los conductores impidiendo el paso de intensidades de corriente eléctrica y en tiempos superiores a valores definidos como máximos. Al llegar a ese valor y en ese tiempo, abre el circuito.

Sin embargo los fusibles pueden ser causa de ruido, atenuaciones adicionales, o fallas, desconectando o produciendo baja calidad del servicio. Por ello debe restringirse su uso y utilizar los elementos mas adecuados a cada caso.

#### a) Fusibles rápidos

Están constituidos por conductores de bajo punto de fusión que abren instantáneamente el circuito al llegar la corriente al valor máximo dado.

El valor típico corresponde a 2 A.

b) Fusibles lentos

Estos actúan luego de transcurrido un cierto tiempo calculado de acuerdo a los valores admisibles que puedan soportar los equipos a proteger. Evitan la constante sustitución de fusibles que actúan con picos de corriente. Valor típico de 250 mA.

c) Bobinas térmicas

Están constituidas por una bobina que acumula calor y actúa sobre una soldadura de bajo punto de fusión, lo que se funde al llegar a un valor de temperatura similar a la que tomaría el equipo que protege. En ese instante un vástago sujeto es liberado y se desplaza, por efecto de un resorte, conectándolo a tierra y deja al conductor sin circuito y a tierra.

### **Descargadores**

Estos dispositivos descargan las sobretensiones a tierra, por conducción de un arco eléctrico formado entre dos electrodos separados, estando uno de estos conectados a la línea y el otro a tierra.

a) Descargadores de carbón

Estos descargadores actúan a presión atmosférica. Están constituidos por electrodos de carbón y dieléctrico de aire o láminas de mica, con ventanas de aire las que protegen la superficie donde salta la chispa de descarga del polvo o grasitud ambiente.

No se fabrican a tensiones de ruptura menores que 350 V debido a obtener dieléctricos de poca separación. La desviación de esta tensión puede llegar a valores de 100 V, lo que lo hace poco confiables.

Deben mantenerse limpios, expresamente en su dieléctrico, a los efectos que no se produzcan descargas por el polvo acumulado, que significará ruidos de fondo (de fritura) a las comunicaciones.

b) Descargadores gaseosos

En este caso los electrodos están inmersos en un gas inerte. Este gas, que tiene características de aislante eléctrico, se ioniza y transforma entonces en conductor, en cuanto la tensión eléctrica entre electrodos llega al valor máximo de ruptura especificado.

Los electrodos al estar encapsulados en una ampolla hermética que contiene al gas, no están sujetos a efectos de agentes externos y pueden ser diseñados con desviaciones, para una presión determinada de picos de corriente máxima dadas, en el orden de 10 Volt.

Existen descargadores bipolares, tripolares, etc. que combinan la protección longitudinal con la transversal y de varios circuitos. Estos reemplazan con amplias ventajas a los de carbón, sobretodo en lo que se refiere a las desviaciones en la operación y a su fácil mantenimiento. Presentan alta resistencia de aislación para valores altos de sobretensión.

c) Descargadores electrónicos

Estos están constituidos por elementos semiconductores que actúan según una curva de ruptura similar a la de los descargadores gaseosos. Los mas comunes en plaza, son los denominados varistores.

## **A. 19. 7. 2. 3. Bobinas longitudinales**



Las bobinas longitudinales tienen por finalidad disminuir la diafonía en los circuitos de telecomunicaciones.

Constan de dos bobinas equilibradas con un núcleo común (Fig. 46). Las mismas se instalan en serie sobre cada hilo conductor.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 46

Presentan alta impedancia a las corrientes inducidas y baja impedancia a las corrientes de conversación y señalización.

Su inductancia varía entre 3 a 50 mH. Introduce una atenuación menor a 1 dB.

### **Aterramientos**

Los sistemas de puesta a tierra, también llamados aterramientos tienen como función desviar a tierra y disipar las corrientes indeseadas de las instalaciones a proteger.

Para ello se debe unir a tierra estos elementos, manteniendo un valor de la resistencia eléctrica a estas corrientes, en los distintos trayectos a tierra, con el menor valor, evitando así que tomen otros caminos que produzcan daños a las instalaciones.

Los aterramientos están constituidos por la toma de tierra, el conductor de tierra, en algunos casos por el colector de tierra y la conexión al equipo o elemento a proteger (Fig. 47).

1- Toma de tierra: Cuerpo o conjunto de cuerpos conductores en contacto eléctrico con tierra, que disipa la corriente eléctrica a tierra.

2- Conductor de tierra: Conductor o conjunto de conductores que vinculan la toma de tierra a la pieza a proteger, al sistema de distribución de tierra o al colector de tierra.

3- Colector de tierra: Conductor en forma de barra o cinta al que están conectados los conductores de tierra y vincula al sistema de distribución de tierra.

4- Sistema de distribución de tierra. Conductores o conjunto de conductores que vinculan los conductores de tierra o el colector de tierra, con las piezas a proteger.

5- Conexión al elemento aterrado.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

.  
. .  
. . .  
. . . .  
. . . . .  
. . . . . .  
. . . . . . .  
. . . . . . . .  
. . . . . . . . .  
. . . . . . . . . .  
. . . . . . . . . . .

Fig. 47

Los aterramientos pueden tener además de la función de protección, la de proveer el retorno de la corriente eléctrica para señalización de los equipos o el punto de masa, potencial de referencia.

Estos aterramientos establecen un potencial estable que protege a las instalaciones, al personal y al servicio, sin embargo puede ser la entrada de corrientes que circulen en el terreno y que podrán afectar con peligro o ruido. Se podrán establecer sistemas de distribución de tierra en estructura:

- estrella,
- malla o
- mixta.

En la figura 48 podemos observar ejemplos de los distintos esquemas de distribución

. .  
. . .  
. . . .  
. . . . .  
. . . . . .  
. . . . . . .  
. . . . . . . .  
. . . . . . . . .  
. . . . . . . . . .  
. . . . . . . . . . .  
. . . . . . . . . . . .  
. . . . . . . . . . . . .

Fig. 48

El sistema de distribución en estrella se utiliza preferentemente para instalaciones en las que la corriente de retorno pueda crear perturbaciones.

La configuración en malla tiene la ventaja de ampliar la sección transversal efectiva de los conductores de distribución, a las corrientes que deriva a tierra, de modo que no origine ddp excesivas.

Además, en caso de algún incidente en algún tramo asegura la continuidad de la protección. Se podrá crear circulación de corrientes de retorno a través de conductores comunes.

La estructura mixta se utiliza en sistemas en que parte del equipo se conecta a tierra mediante una configuración tipo malla y el resto más sensible a perturbaciones, utiliza la configuración estrella.

Los colectores de tierra se conectan a las pantallas de los cables, tuberías metálicas de agua, gas, calefacción, armaduras del hormigón armado de las instalaciones, conductores neutros de la instalación eléctrica, equipos de conmutación, transmisión, herrajes de repartidores, etc. mediante los sistemas de distribución de tierra y a las tomas de tierra. Estas tomas a tierra podrán estar ubicadas en distintos sitios, dentro del perímetro de la central.

Se deberá cuidar en estos casos que las descargas atmosféricas, sus retornos por tierra o corrientes galvánicas no afecten las instalaciones. Se deberán seguir las recomendaciones de las reglamentaciones de la administración u operador y nacionales en vigencia.

Para zonas con alta probabilidad de descargas atmosféricas, las rutas aéreas deberán acceder a la central en forma subterránea, llegando por canalización a una distancia de por lo menos 100 m.

La tensión residual que persiste durante la descarga hacia tierra, a través de descargadores de tensiones, es proporcional a la resistencia de unión a tierra

Los conductores de los sistemas de distribución de tierra, dispondrán de secciones ( $mm^2$ ), definidas en función de la corrientes máximas admisibles de protección ( A ). Ver Tabla 16.

TABLA 16

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Los colectores de tierra emplearán cables conductores de cobre o cintas con secciones de aproximadamente  $120 mm^2$ , dependiendo de la mayor corriente de derivación conectada al sistema de distribución.

Los conductores de tierra también se proveerán de similares secciones, dependiendo éstas de las protecciones a realizar, sistema adoptado y de las reglamentaciones vigentes.

El principal factor en este problema es la resistividad del suelo, por lo cual el valor obtenido mediante la toma de tierra es fundamental a su efectividad.

El valor de resistencia a tierra requerido para las instalaciones, considerado como aceptable para los equipos de transmisión depende si se trata de estaciones terminales o intermedias (4 y  $8 \Omega$  valor medio, respectivamente).

En estaciones de mayor importancia o sistemas comunes de tierra las exigencias pueden llegar a 0,5  $\Omega$ .

Distintos países adoptan diferentes valores de toma de tierra, por ejemplo en Alemania se fija:

Hasta centrales de 500 líneas de abonados 10  $\Omega$

de 500 a 2000 líneas de abonados 2  $\Omega$

Mas de 2000 líneas de abonados 0,5  $\Omega$

Luego de hallar el valor de resistividad del suelo mediante métodos y aparatos de medición establecidos por la administración, se determina la zona mas apropiada para la instalación de la toma de tierra y el sistema de electrodos a emplear.

Una toma de tierra se efectúa instalando un electrodo metálico o un sistema de electrodos interconectados, en un punto y una profundidad apropiada.

La resistencia de una toma de tierra está determinada por tres factores fundamentales:

- a) la resistencia eléctrica propia de los conductores de la instalación de tierra;
- b) la resistencia eléctrica del contacto entre el sistema de electrodos y el suelo;
- c) la resistencia propia del suelo: resistencia de difusión de la toma de tierra.

Los valores de la resistencia propia de los conductores y del contacto, aplicando métodos correctos son despreciables. La resistencia del volumen del suelo que envuelve a los electrodos entonces es el que determina el valor resistivo del sistema.

Diversos métodos disminuyen la resistividad del suelo: carbones, escoria de hierro, polvos metálicos, riegos con electrolitos, cloruro de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, bentonita coloidal, etc. Los materiales apropiados para la construcción de las tomas de tierra son el acero, cobre o acero recubierto de cobre protegidos con una capa de zinc.

El zinc crea una película superficial protectora de la corrosión, por ello es un material óptimo para utilizar con el acero o cobre, recubiertos éstos con una capa suficientemente gruesa (70 - 100  $\mu\text{m}$ ).

El cobre enterrado resiste bien a la corrosión, pero su posición en la serie de potenciales electroquímicos es tal que provoca la corrosión galvánica del aluminio, acero o estaño, si se establece con ellos una conexión directa o por medio de tierra húmeda.

El valor de conductividad del cobre, hace que su empleo sea el más indicado para el caso de conductores y electrodos de gran longitud, reemplazando al acero. No obstante ello, el uso del cobre exige prestar gran atención al problema de la corrosión galvánica.

Dada la importancia que reviste la resistencia del terreno en asegurar el carácter disipativo de las corrientes eléctricas perjudiciales, deberemos prestarle la mayor atención en hallar su correcto valor. Por ello deberemos ver en detalle el análisis de los parámetros intervinientes para su medición.

Las instalaciones de protección contra los efectos eléctricos indeseables son por excelencia la toma de tierra. Estas mantienen una distribución equipotencial en la pantalla del blindaje del cable e incrementa la capacidad para soportar la corriente de exceso en descargas o fallas energéticas.

Un aterramiento adquiere el potencial de tierra del punto donde se instale. El terreno es mal conductor comparado con los metales de uso industrial. Sus componentes son en estado seco aislantes (óxido de aluminio, sílice), pero con contenido de humedad su resistividad disminuye rápidamente.

La composición de la tierra no es uniforme (Tabla 17), varía según su ubicación y profundidad en capas o bolsones, además esta influenciada por los cambios climáticos (lluvias, nieve, temperatura) y por su grado de compacidad.

TABLA 17

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Al adquirir la toma de tierra el potencial del terreno del punto donde esta se instala, debe tenerse muy en cuenta sus propias fluctuaciones y cuidar que las influencias dadas por otras instalaciones o por discontinuidades del terreno, como ser terraplenes, capaces de provocar acoplamientos o variaciones en el nivel de humedad (en estos casos el valor de la resistencia del suelo podrá llegar a ser dos o tres veces superior al medido en condiciones normales).

Estas circunstancias deben ser entonces, tenidas en cuenta por el proyectista de redes, en su análisis y medición del terreno.

La medición del valor de resistividad se efectúa constituyendo un circuito de alimentación mediante un generador (**G**), un amperímetro (**A**) y dos electrodos **a** y **b** clavados en el suelo, picas (Fig. 49).

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 49

Para simplificar el análisis, supondremos un terreno homogéneo y consideraremos la longitud enterrada de los electrodos muy pequeños respecto a la distancia de separación entre ellos, con lo que la corriente eléctrica entrante en **a** al terreno cierra el circuito saliente por **b**. Con la hipótesis formulada, no existirá dirección privilegiada de la corriente, distribuyéndose uniformemente en el terreno. Inferimos con esto que, en cada electrodo, las corrientes atraviesan capas semiesféricas concéntricas equipotenciales (Fig. 50).

.

.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 50

La ddp (  $V$  ) que produce esta corriente (  $I$  ) está dada en función directa de su valor y de la resistividad del suelo (  $\rho$  ), e inversa a la distancia al punto de inyección (  $r$  ).

$$V = \frac{I \rho}{2 \pi r} \quad [ V = \frac{A \Omega m}{6,28 m} ]$$

La ddp entre dos puntos M y N situados a una distancia del punto a de inyección,  $r_1'$  y  $r_2'$ , será (Fig. 51 ).

$$V_{MN}' = \frac{I \rho}{2 \pi} \left[ \frac{1}{r_1'} + \frac{1}{r_2'} \right]$$

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 51

La ddp entre dos puntos M y N situados a una distancia del punto b de salida,  $r_1''$  y  $r_2''$ , será (Fig. 52 ).

$$V_{MN}'' = \frac{I \rho}{2 \pi} \left[ \frac{1}{r_1''} + \frac{1}{r_2''} \right]$$

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

·  
·  
·

Fig. 52

La superposición de ambas expresiones nos dará la ddp total entre los puntos M y N. Si hacemos r<sub>1</sub> y r<sub>2</sub> igual al valor de "a" (Fig. 53), resultará:

$$V_{MN} = V_{MN}' + V_{MN}'' = \frac{I \rho}{2 \pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{1}{2a} \right] + \frac{I \rho}{2 \pi} \left[ \frac{1}{a} + \frac{1}{2a} \right]$$

$$V_{MN} = \frac{I \rho}{2 \pi a}$$

·  
·  
·  
·  
·  
·  
·  
·  
·

Fig. 53

Despejando, obtenemos el valor de la resistividad del suelo ρ:

$$\rho = 2 \pi a \frac{V_{MN}}{I}$$

Los aparatos de medición electrónicos, nos entregarán directamente este valor.

Estudios mas completos deberán tomar en cuenta su variación con relación a la profundidad del suelo (Tabla 18), el grado de humedad estacional, las discontinuidades del suelo, el perfil del terreno, instalaciones aledañas, etc.

TABLA 18

·  
·  
·  
·  
·  
·  
·  
·  
·  
·

En los casos en que, por el valor de la resistividad requerida, se deba instalar más de un electrodo (varilla de aterramiento), es conveniente crear ciertas normas de instalación, para cada caso. Ya fuese necesario colocar una, dos o tres varillas (Fig. 54), se deberá conservar las cotas de apartamiento definidas, con el objeto de su ubicación al efectuar pruebas o trabajos de mantenimientos.

En los casos de imposibilidad en mantener estas normas, se debe indicar las cotas implementadas en los planos.

·

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 54

Distintas expresiones matemáticas se aplican para determinar la resistencia de difusión, según su método de aplicación:

- a) de una varilla;
- b) de varillas en paralelo;
- c) de un conductor desnudo enterrado horizontal;
- d) de varillas en paralelo y un conductor desnudo enterrado horizontal.

Los electrodos constituidos por secciones metálicas presentan una capacidad de descarga suficiente y además disponen de la rigidez mecánica necesaria a su instalación.

Sus valores característicos son:

- Conductores horizontales de acero galvanizado, 95 mm<sup>2</sup> de sección;
- Cintas de acero galvanizado, 3 mm de espesor, 100 mm<sup>2</sup>;
- Conductores horizontales de acero recubierto de cobre, 500 mm<sup>2</sup>;
- Conductores horizontales de cobre, 16 mm<sup>2</sup>;
- Cinta de cobre, 2 mm de espesor, 50 mm<sup>2</sup>
- Varillas enterradas verticales de acero galvanizado  $\phi$  10 mm; tubos  $\phi$  20 mm; perfiles L 50x50x5 mm; V 30x30x5 mm; T 50x50x6 mm; X 50x3 mm
- Varillas de acero de  $\phi$  10 mm recubiertos de una capa de cobre de 0,35 mm; cobre  $\phi$  10 a 20 mm
- Placas de 10 acero galvanizado 3 mm o cobre 2 mm, de espesor.

Al valor que nos define la relación geométrica de un electrodo ( por ejemplo longitud / diámetro ), o de un sistema considerado, se le denomina constante del electrodo ( o del sistema ). En la Tabla 19 se incluye valor de las constantes mas utilizadas en Telefónica de España.

TABLA 19

.  
.  
.



Veamos el cálculo teórico de la resistencia a tierra, obtenido por una toma aplicada a una jabalina de radio  $a$  y longitud  $L$  (Fig. 55).

Fig. 55

$$R_d = 0,366 \frac{\rho}{L} \log \left[ 1 + \frac{L}{a} \right]$$

Para  $\rho = 10 \Omega \text{ m}$ ,  $a = 2,50 \text{ mm}$  y  $L = 4 \text{ m}$ , resulta  $R_d = 3 \Omega$

La resistencia de difusión de un conductor horizontal (Fig. 56), se podrá hallar mediante la expresión

$$R_d = \frac{\rho}{\pi L} \left[ \ln \frac{2L}{\sqrt{hd}} \right]$$

Con  $d$  = diámetro del conductor.  
 $L$  = longitud del conductor  
 $h$  = profundidad del conductor

.  
.  
.  
.  
.

Fig. 56

Conociendo la resistencia de difusión, mediante esta expresión se podrá calcular los metros requeridos del conductor de la toma de tierra. En la figura 57 se muestra una disposición típica para un aterramiento, como protección de una instalación de cable directamente enterrado.

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 57

Para un sistema compuesto por n varillas se aplica la relación:

$$R_d = \frac{1}{n} \left[ R_1 + \frac{\rho}{\pi D} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) \right]$$

Con  $D \geq 2L$

Siendo

- L longitud de las varillas
- $R_1$  resistencia de difusión de una varilla
- D distancia entre varillas

Cuando combinamos el uso de varias varillas con un conductor desnudo enterrado, tendremos que sumar sus efectos (Fig. 58 ).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

.  
.  
..  
.  
.  
.

Fig. 58

La distribución adoptada determinará su mayor eficiencia, por ejemplo para una estación repetidora de radioenlace (Fig. 59), la torre y las salas deberán disponer de tomas de tierra perimetrales conectadas a la torre y a los distintos equi-pos de transmisión y de fuerza (generadores o baterías de acumuladores eléctricos).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 59

Para los casos en que se presente la imposibilidad de instalar varillas en las proximidades de los postes en las rutas de cables aéreos se podrán instalar tomas mediante cables desnudos enterrados y de ser necesario reforzados mediante el uso de bentonita, sales o carbón vegetal (Fig. 60).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
..  
.  
.  
..  
.  
.  
..  
.

Fig. 60

La unión al electrodo debe ser sumamente efectiva. Se hace crítica por la generación de altos efectos de corrosión. Por ello se debe realizar mediante soldadura oxiacetilénica o similar y recubrir con capa epóxi o encintado plástico.

En las instalaciones de planta externa se aprovecha las mallas metálicas de las estructuras de hormigón armado de cámaras de registro y recubrimientos de las cañerías subterráneas como elementos disipativos, aplicándolos a los armarios subrepartidores, cabinas telefónicas y aterramientos de los cables en general.

Se adoptarán varios electrodos encadenados, electrodos profundos introducidos mediante maquinarias especiales o disponer fosos preparados, según los valores obtenidos, los requeridos y sus costos.

#### **A. 19. 7. 2. 5. Vinculaciones**

Se denominan vinculaciones, a las uniones de baja resistencia eléctrica entre las distintas partes metálicas de las redes y entre éstas y tierra.

De tal manera las vinculaciones suministran un bajo trayecto de baja impedancia que permiten drenar las corrientes a los aterramientos y anular así las ddp inducidas, con el fin de evitar orígenes de ruido o peligro.

Debe reducirse la probabilidad de producirse un arco eléctrico, evitando así, se carbonicen los materiales aislantes.

#### **A. 19. 7. 2. 6. Transformadores aisladores**

Estos elementos aíslan metálicamente un tramo de línea que este sujeto a fuerte inducción.

Las tensiones inducidas en los dos hilos de un par, son prácticamente iguales, no creando ddp entre ellos, sino entre cada uno de ellos respecto a tierra.

El transformador hace que las corrientes inducidas en la línea, conectada a su primario, se anulen al llegar a estas bobinas, de modo que no aparezcan tensiones en el secundario.

La relación de transformación es 1:1 permitiendo el paso de las señales variables de audio, portadoras o magneto, no las de corriente continua. La atenuación introducida es de aproximadamente 1 dB (Fig. 61).

.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 61

#### **Transformadores neutralizadores**

Estos dispositivos tienen por finalidad neutralizar los efectos de elevación de potencial eléctrico y / o a inducciones longitudinales, debido a proximidades con subestaciones de energía eléctrica

Están constituidos por tres o mas arrollamientos. Uno de éstos es usado como primario y está conectado en serie con un conductor, el que está conectado a tierra en sus extremos. Los demás arrollamientos son usados como secundarios y están unidos a los conductores de la línea de telecomunicaciones, de modo que en éstos son inducidas tensiones iguales y contrarias a las que circulan por el primario.



.  
.  
.  
.  
.  
.  
.

Fig. 63

### **A. 19. 7. 2. 10. Blindajes**

El blindaje de los cables es el medio protectivo más eficaz para las líneas de telecomunicaciones, por ello se deberá dedicar la mayor atención en lo referente al material, espesor y aterramiento, a implementar.

Su utilización tiene por objeto anular los campos electromagnéticos que puedan generar inducción con efectos de peligro o perturbación.

Estos blindajes consisten en pantallas electromagnéticas, incluidas en las mis-mas cubiertas de los cables de planta externa, cables de tierra instalados paralelos a las rutas aéreas y paredes subterráneas interpuestas entre las líneas de energía y las de telecomunicaciones.

A fin de anular el campo eléctrico inducido en el cable, el material del blindaje debe poseer una alta conductibilidad, como ser aluminio o cobre. De este modo en el interior de los cables se tendrá un efecto de Jaula de Faraday, donde el campo eléctrico en su interior es nulo. Ejemplos de esta cubierta los tenemos en los cables PAL (LAP) y Alpeth ( ver Tomo I ).

A fin de anular el campo electromagnético inducido en el cable, el blindaje debe poseer una alta permeabilidad magnética que facilite el camino a las líneas de fuerza de su flujo, desviándolas de los conductores. Materiales con alta permeabilidad son los ferromagnéticos, como el acero, utilizándolo en láminas, hilos o cintas que envuelvan a los núcleos de pares. Ejemplo de esta cubierta los tenemos en los cables Stalpeth, con chapas de acero soldadas y corrugadas.

Los cables con cubierta PAL disponen de una pantalla electrostática de blindaje relativa y casi nula a los campos electromagnéticos. Para su efectividad debe ser superior a 0,15 mm y en los casos de campos electromagnéticos se utilizan pantallas con materiales ferromagnéticos, cintas de acero.

Para líneas de telecomunicaciones aisladas de tierra y de energía con neutro a tierra, predominan los campos magnéticos.

En caso de 13,2 kV o tensiones mayores, se debe además de estudiar la distancia de separación, prever los necesarios blindajes y protecciones.

### **A. 19. 7. 2. 11. Separaciones**

Frente a la eventualidad de producirse en los proyectos de planta externa acercamientos con líneas de energía eléctrica, las normas de acción se podrán re-sumir en los siguientes procedimientos.

Consideraremos a las líneas como de baja tensión hasta 1000 V y a las de alta tensión cuando superan los 33 kV.

En los casos que la red de telecomunicaciones es existente y se deba instalar una red de energía que obligara a su desplazamiento o modificación, estos costos deberán estar a cargo del interesado en la ejecución de tales obras.

Para líneas de baja tensión, como transporte o distribución de energía, se procederá al proyecto en lo posible por la acera opuesta. En su imposibilidad se deberá mantener las separaciones mínimas

normadas: cruces 0,80 m y paralelismos 1 m, siempre que se observen las reglas de protección y seguridad necesarias.

Para líneas de baja tensión, como tracción se procederá a efectuar los cruces en forma subterránea, con una profundidad mínima de 2 m midiéndola desde la parte superior de los rieles.

Se construirán estos cruces con material aislador mecánicamente resistente. Su traza debe ser de 90° o en su defecto superior a 45°.

Los cruces con líneas de media o alta tensión se realizarán subterráneos mediante construcciones tipo sifón (Fig. 64), manteniendo separaciones superiores a una vez y media la altura del poste, mas comprometido (de telecomunicaciones o de energía eléctrica). Esto tiene por finalidad que en caso de la caída de alguno de estos postes, no se afecte al otro servicio. Para aproximaciones con líneas férreas, también se observarán estas separaciones.

Los paralelismos se realizarán por calles no afectadas.

En los casos de líneas de tracción o de alta tensión o que no se pudiese atender a las normas descritas anteriormente, debe darse intervención al Departamento de Seguridad de la Administración, a los fines de determinar los cálculos pertinentes y proveer los elementos y normas protectivas adecuadas.

.  
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
..
   
.
   
.

Fig. 64

### A. 19. 7. 3. Protecciones en la oficina central

Con el fin de eliminar los efectos de las sobrecorrientes y sobretensión indeseables para los sistemas de transmisión o conmutación, los conductores de los cables de la planta externa expuestos a estas influencias, deben terminar en la central en dispositivos protectores apropiados. Estos dispositivos podrán ser fusibles, descargadores carbón - aire y bobinas térmicas, actualmente implementados por descargadores gaseosos y elementos semiconductores: varistores y termistores. Tales implementos impedirán el paso de corriente, derivarán los picos de tensión o anularán los efectos destructivos y térmicos de las sobre intensidades.

#### A. 19. 7. 3. 1. Niveles de tensión y corriente máximas

A fin de realizar el estudio de los protectores y sus valores admisibles, analizamos las tensiones y corrientes máximas de operación en los equipos.

Los suministros de energía, para alimentar los equipos de transmisión y conmutación: batería central, se realizan en tensiones de 48 V<sub>CC</sub>, salvo en caso de algunos equipos electromecánicos que requieren una fuente de 60 V<sub>CC</sub>. A esta tensión debe adicionársele el valor dado para la señalización telefónica, corriente de campanilla, 75 V (valor cresta 106 V, a 25 Hz).

Como consecuencia de sumar ambas tensiones, resultarán picos de 154 V ó 166 V en caso de 60 V, en batería central. Debido a las distorsiones de las ondas senoidales enviadas, se podrá alcanzar picos de tensión de 175 V .

Se permite una variación en la fabricación de la tensión mínima para el cebado de los descargadores, del 20 % al valor nominal, con lo que resultará un valor normalizado de  $230 V_{CC}$  (CCITT, Recomendación K. 12). Con este valor se está también posibilitando considerar un valor tolerable de tensión inducida.

En estas circunstancias cualquier sobre tensión cuyo valor fuese inferior a  $230 V_{CC}$  , no provocará la descarga a tierra en los protectores.

El valor de sobreintensidad dado por un contacto directo con una línea de energía eléctrica, será dado en función de la resistencia de la fuente de alimentación telefónica, mas el valor dado por la línea, según su distancia a la central y de acuerdo a la tensión en la red de energía (Fig. 65).

.  
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
..
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.
   
.

Fig. 65

Los resistores de la fuente de alimentación, batería central, se fijan en  $200 \Omega$  (ó  $250 \Omega$  ), mientras que la resistencia ohmica de un conductor calibre 0,40 mm. es de  $143 \Omega / km$ . Para 493 m corresponde  $70,54 \Omega$ .

La curva relación de la tensión valor pico (  $V_p$  ) y su correspondencia con la intensidad de corriente en A (  $I_c$  ), respecto a la distancia (  $M$  ) y su correspondencia con la resistencia eléctrica de la línea (  $RI$  ), se puede observar en la figura 66.

En un contacto directo con una línea distribuidora de energía, tensión  $220 V_{ef}$  ( valor de cresta =  $\sqrt{2} V_{ef} = 1,41 \times 220 V_{ef} = 311 V$  ), tendremos un valor de sobrecorriente de:

$$I_{ef} = \frac{220 V_{ef}}{71 \Omega + 200 \Omega} = 0,81 A = 810 mA$$

Los resistores de las fuentes de alimentación limitan las corrientes de cortocircuito a valores e 120 mA, en caso de contacto con líneas de energía cuando ocurriesen a corta distancia desde la central.

Observamos que entre este valor de 120 mA y los 810 mA hallados anterior-mente no existe protección. Por esta razón se debe instalar un elemento protector que suprima tal sobreintensidad, sobre-



manera para estados prolongados que puedan producir elevada temperatura en los equipos, producir daños en sus elementos e incluso causar incendio en la central.

Fig. 66

### **Sistemas de protección**

La provisión de elementos protectivos de los equipos en la central y su instalación podrá realizarse ubicándolos en los ingresos a los equipos o a la central misma. Para ello se podrá hacer uso del



Al conjunto indicado anteriormente varistor - descargador que anula las sobretensiones, deberá entonces adicionarse elementos semiconductores en cada hilo conductor. Los termistores actúan al elevarse la temperatura abriendo el circuito y anulando los efectos perjudiciales de sobreintensidad (Fig. 68).

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 68

La operación del conjunto: varistor, descargador y termistor se explicará mejor desarrollando tres casos, los que contemplan las distintas posibilidades de ex-ceso de tensión y corriente

a) Sobretensiones producidas por descargas atmosféricas

Debido a la alta reacción de los varistores ( $< 25$  ns), actuarán impidiendo el crecimiento de la onda de choque, entre el conductor influenciado y tierra. Transcurrido  $1 \mu\text{s}$  en esa circunstancia, si el valor recortado por el varistor es igual o mayor al del cebado del descargador gaseoso, éste responderá, que-dando solo como tensión residual un valor menor a  $25$  V. El termistor en este caso, de corta duración, no actúa.

b) Sobretensiones producidas por líneas de energía

Las sobretensiones producidas por líneas de energía eléctrica que experimentan fallas en cortocircuitos monofásicos a tierra, dependen del tiempo de actuación de sus disyuntores. Para líneas de  $13.200 V_{\text{ef}}$ , los cortes frecuentemente son superiores a  $1 \mu\text{s}$ .

En estas condiciones, la secuencia de operación de la protección es similar a la del caso ( a ), pero el tiempo prolongado del fenómeno dará lugar al accionar del protector de sobreintensidad, representado por el termistor. Si esto ocurre así, el restablecimiento del circuito estará dado por el tiempo requerido por éste, para recuperar la temperatura ambiente desde el valor aproximado de  $120$  °C.

c) Contacto directo con una línea de distribución de energía

El contacto accidental y con carácter prolongado, del conductor de un par tele-fónico, con una fase de una línea de energía, con tensión nominal de  $220 V_{\text{ef}}$  ( contra tierra ), cuando se efectúa a una distancia igual o mayor a  $493$  m desde la central ( ver ejemplo de la Fig. 66 ), no accionará el TDG.

Ello se debe a la caída de potencial causada por la resistencia que introduce el par conductor (  $71 \Omega$  ), desde el contacto hasta la central. La inclusión de termistores en serie, abrirán los circuitos evitando el daño a los equipos. Si el fenómeno continúa, la conexión firme a tierra, mediante el fundido de un elemento aislador. del mismo TDG, podrán protegerse permanentemente a los equipos.

En la Tabla 20 se resumen los niveles, ventajas e inconvenientes de cada elemento básico actuante contra sobretensiones, en un sistema de telecomunicaciones.

#### A. 19. 7. 4. Protecciones en la red externa

Así como disponemos en la central de distintos elementos de protección, en el desarrollo de las distintas rutas debe preverse, algunos del mismo o similar tipología, otros disímiles, de esta forma completamos el sistema de protección, logrando obtener la eficiencia deseada.

Vimos distintos métodos y sistemas de protección aplicados en general a la red, los que complementaremos puntualizando particularidades propias de los proyectos de la planta externa.

Deberemos insistir en los disímiles efectos producidos por los distintos campos actuantes sobre los cables para telecomunicaciones, su pantalla de blindaje y núcleo de pares.

Los campos eléctricos son anulados con un buen blindaje conductor de las cargas eléctricas, por ello utilizamos cobre o aluminio, formando una Jaula de Faraday en donde no existen cargas internas. Sin embargo en cuanto estas cargas puedan circular, generarán corrientes indeseables en su interior, por ello tal blindaje deberá estar suficientemente aterrado (Fig. 69).

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

Fig. 69

En cuanto a los efectos producto del campo magnético, sus perjuicios disminuirán si utilizamos metales ferromagnéticos como el acero, o cobre acerado. También se deberá aterrar suficientemente la planta.

TABLA 20





TABLA 21

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

En la Tabla 22 se muestran las alturas mínimas admisibles que se deberá aplicar a los cruces con carreteras, ríos, vías férreas, etc., en los distintos proyectos de las rutas de cables para telecomunicaciones.

TABLA 22

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

En casos de proximidades peligrosas con líneas de energía para los proyectos en los que se utilizan postes compartidos con el servicio de distribución de energía eléctrica debe considerarse el proveer aterramientos cada 600 m o menores. Esta distancia dependerá del valor de resistividad del suelo, probabilidad de incidencia de descargas atmosféricas, contactos y / o inducción.

Los aterramientos de las líneas de telecomunicaciones, no se deben realizar en postes compartidos, donde exista aterramiento de las líneas de energía.

Se dispondrán descargadores a tierra en las cajas terminales cuando tengan acometidas mayores a 400 m. De igual manera se instalarán estos protectores, cuando los cables aéreos fuesen continuados por ramales de líneas abiertas (circuitos de alambres metálicos desnudos, o la zona tuviese carácter de alto valor cerámico).

Es conveniente en los casos de cruce, realizar el proyecto de la ruta de telecomunicaciones en forma subterránea, para luego continuar aérea (sifón ), manteniendo las vinculaciones y aterramientos descriptos. En cada poste adyacente se vincularán los suspensores al blindaje de los cables y aterrarán.

Se deberán cuidar de cumplir todas las normas de seguridad de la administración, municipal, provincial y nacional en vigencia. En caso de no existir normas expresas, debe recurrirse al tratamiento de recomendaciones internacionales.

#### **A. 19. 7. 4. 3. Protecciones en rutas subterráneas o enterradas**

Los cables instalados en canalizaciones o directamente enterrados deben disponer vinculaciones de pantalla a tierra, al inicio y final de los paralelismos con líneas de energía.

En cámaras de registro que contengan varios cables instalados, es conveniente la vinculación de sus pantallas y la implementación de aterramientos mediante una barra colectora tipo bus y bornes conectados a tomas de tierra. Esto será imprescindible de realizar, para los casos que se detecten efectos de inducción.

En canalizaciones próximas a cables de energía, deben efectuarse separaciones adecuadas de protección. Hasta 30 kV es necesario proveer protecciones separadoras de hormigón, si se requieren aproximaciones con un mínimo de 30 cm. Para tensiones superiores es conveniente asegurar separaciones de un metro como mínimo.

Se requerirá para zonas sujetas a descargas atmosféricas o en paralelismo con líneas de energía, colocar cables aterrados de acero, aéreos y / o enterrados como blindaje.

#### **A. 19. 7. 4. 4. Protecciones en el abonado**

En los casos de líneas expuestas, es necesario aterrar las terminaciones de las acometidas al abonado en su unión al alambre de interior. Para ello se debe contemplar allí la instalación de vinculaciones y / o descargadores a tierra e instalación de varillas enterradas o método similar.

En caso de terminales electrónicos también se debe instalar descargadores transversales (entre conductores).



## BIBLIOGRAFÍA

Directrices sobre la protección de las líneas de telecomunicaciones contra los efectos perjudiciales de las líneas de energía eléctrica y de las líneas ferroviarias electrificadas CCITT - 1989.

Protecciones contra las perturbaciones. - UIT / CCITT - 1989.

Manual de protección contra el rayo, de las líneas e instalaciones de telecomunicaciones. - CCITT - 1978.

Protecciones electromagnéticas en las instalaciones telefónicas. AHCIET - A. Rodríguez Torres.

Protección de redes telefónicas. - INICTEL - Ing. Raúl Montes Matos, Ing. Roberto Taype Piñashca - 1992.

Dispositivos de protección en repartidores principales de centrales de conmutación - Telefónica de Argentina - 1993.

Estudio de Normalización sobre Coexistencia de Líneas de Energía y Telecomunicaciones - Entel Argentina - 1977.

Construcción del Sistema de Protección Eléctrica - ENTEL Perú - 1988

Procedimiento de Proyectos - Protección Eléctrica - Telebras - 1976.

Inducción - Dispositivos de Protección - Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú - 1986.

*Protecciones - Planta Exterior - Formación - Telefónica de España*

*Telephone Outside Plant Engineering - NTT - 1980*

## COLABORADORES

Para la revisión de esta obra se contó con la singular colaboración del Señor Jorge Corrado de la Subgerencia Protecciones de la Dirección Planificación, Programación y Tecnología, Telefónica de Argentina y del Ing. Antonio Remuiñan de la División Normas de Desarrollo de Redes del Departamento Planificación y Normas de Desarrollo, Telecom Argentina, a quienes se les agradece su valioso aporte.

---ooo0ooo---