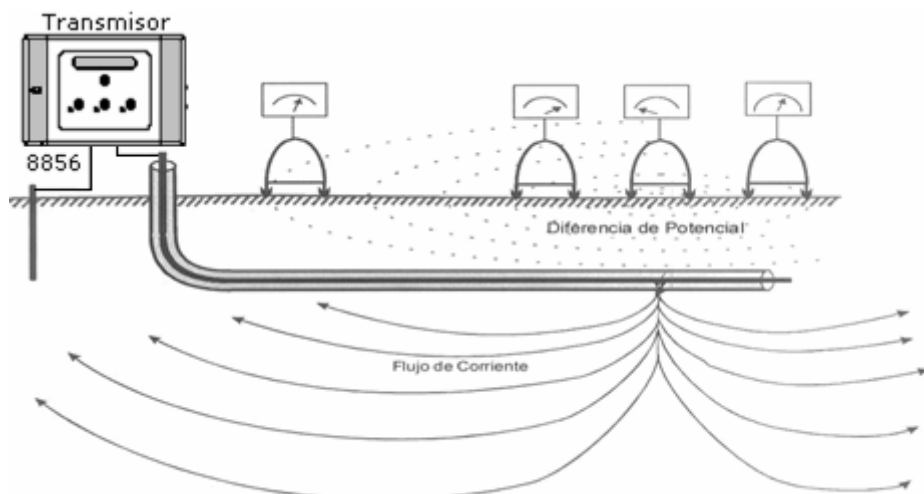


## GRADIENTE DE TENSION (ALTERNA)

El tema más controvertido en los últimos años, ha sido el posible daño a los cables subterráneos, debido a las altas tensiones.

En consecuencia, ha habido una búsqueda continua de métodos alternativos no destructivos, para la ubicación exacta.



Gradiente de Tensión para Ubicar con Exactitud Fallas en Cables Subterráneos

Aunque ciertamente no es un reemplazo para el generador de impulsos, el equipo de ensayo de gradiente de tensión CA, principalmente diseñado para ubicar con exactitud fallas en cables secundarios enterrados, a veces puede ser utilizado para ubicar con exactitud, fallas en cables primarios enterrados. Ver Figura.

Cuando se está utilizando un transmisor de corriente alterna, como el mostrado en la Figura, al acercarse el marco-A (A-frame) a la falla, el potencial medido aumenta.

Cuando el marco-A se ubica sobre la falla, la medición cae a cero. Después que se ha pasado la falla, el potencial aumenta nuevamente. El marco-A debe ir moviéndose directamente sobre la ruta del cable, por lo tanto es esencial efectuar un rastreo del cable de antemano.

Una técnica similar, es utilizar un generador C.C. que produzca un pulso de tensión de varios segundos, a un intervalo de tiempo regular.

En este caso, un medidor de cero central en el marco-A, se moverá en una dirección, por cada pulso al aproximarse a la falla; se leerá cero cuando se encuentre directamente sobre la falla, y se moverá en la dirección opuesta después que se ha pasado la falla.

Este enfoque, tiene la ventaja que en la mayoría de los casos, la tensión es mucho mayor que la producida por un generador de CA, por lo tanto fluye una corriente más elevada a través de la tierra, produciendo un gradiente de tensión de tierra más elevado.

Estas dos técnicas del gradiente de tierra, son las usadas más típicamente en fallas secundarias (cubiertas exteriores).

## PROCEDIMIENTO PARA DETECCION DE FALLAS

Abordar una tarea de detección de fallas, en forma profesional, implicará la realización de cuatro operaciones fundamentales, establecidas en una secuencia progresiva:

### SECUENCIA:

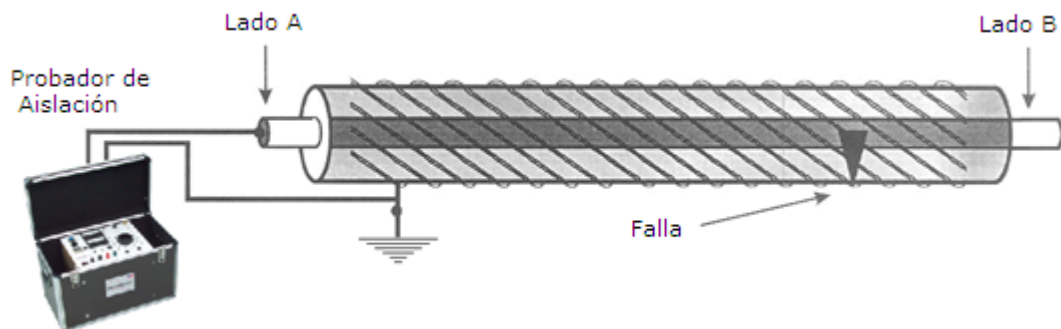
1* ENSAYAR	2* ANALIZAR	3* PRELOCALIZAR	4* PUNTUALIZAR
------------	-------------	-----------------	----------------

#### 1\* ENSAYO

##### Utilizando un Probador de Aislación: Aislación y Continuidad

Después de desenergizar y aislar una sección de cable, preparándola para la localización, se recomienda que se siga un esquema fijo de pasos. Aunque la mayoría de las fallas están entre el conductor y tierra, las fallas de conductor a conductor, las fallas series y las interrupciones, también ocurren. Puede recogerse información útil, caracterizando el tipo de falla, mediante el uso de un probador de aislación, que posea rangos de medida en micro-amperes. Realice una serie de mediciones con el probador de aislación, entre el conductor fallado y tierra como sigue:

1. Desde el lado A, conecte el probador de aislación, entre el conductor fallado y tierra, como se muestra en la Figura. Registre esta lectura de micro-amperes de fuga.

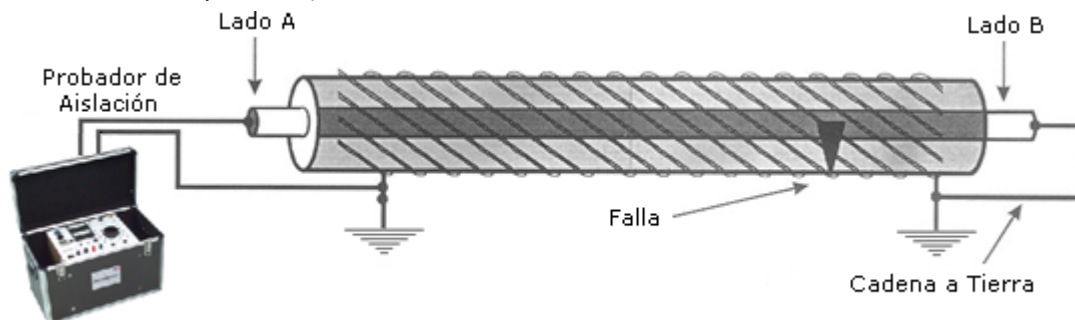


Prueba de Aislación de Fase/tierra

2. Desde el lado A, conecte el probador entre cada uno de los otros conductores de fase (uno por vez), y tierra (si el cable es trifásico), y registre las lecturas.

3. Compruebe la continuidad desde el lado A, después de conectar un corto entre el conductor de fase y neutro, colocados en el lado B, como se muestra en la figura, o entre fases adyacentes si se trata de un cable tripolar.

Si se mide una lectura de infinito, es probable que el conductor de fase, o el neutro estén completamente abiertos entre el lado A y el lado B. Esto podría ser causado por una excavación, o una falla que ha deteriorado y abierto, al conductor de fase.



Prueba de Continuidad

(NOTA: Evite utilizar megóhmetros en cables de media tensión.)

Por definición, un megóhmetro mide resistencias de aislación, y es generalmente alimentado por baterías internas; si de éstas se intenta extraer 10.000 Vcc, con un buen rendimiento, solo se logrará a costo de disminuir la corriente de prueba disponible, a niveles bajos, generalmente del orden de los micro-amperes.

Esto hace que en caso de intentar medir la aislación de cables extensos, con altas corrientes de fugas, el equipo no tendrá la suficiente energía para afrontar esta carga.

La medición de resistencia de aislación sobre muestras de alto valor de tensión nominal, y gran capacidad eléctrica, por ejemplo los cables de media tensión, exigen tensiones y corrientes de pruebas mas altas que las que puede ofrecer un megóhmetro convencional.

Muchos profesionales de mantenimiento eléctrico, necesitan verificar la aislación en largos cables instalados de media tensión (6,6 kV; 13,2 kV etc.), y en muchos casos, erróneamente deciden realizar estas pruebas con un megóhmetro, dada su practicidad, y economía de inversión.

Para estos casos, se deben utilizar otros instrumentos de mayor tensión y capacidad de prueba, conocidos como Rectificadores o Probadores de Aislación (HIPOT), que responden a los requerimientos específicos de las normas de ensayos, con resultados expresados generalmente en micro/mili-amperes.

Como regla práctica se establece que la corriente máxima de aporte del equipo de ensayo (manteniendo estable la tensión de prueba), deberá ser al menos 10 veces superior a la corriente de fuga que absorbe la muestra.

Recuerde probar sus cables instalados con el instrumento adecuado para tal fin, siguiendo las reglamentaciones vigentes:

REGLAMENTACION SOBRE LINEAS SUBTERRANEAS EXTERIORES DE ENERGIA Y TELECOM. (AEA 95101 año 2007), punto 13.1.2 "Ensayos Dieléctricos del Aislamiento", Tabla 13.1 (Ensayos de Tensión Resistida).

No utilizar megóhmetros en largas longitudes de cables, o en aquellos casos en que la corriente de fuga supere a la máxima del instrumento, dado que las mediciones serán inviables.

**"ANALICE"** la Información (determine la tensión de ruptura)

Si el resultado obtenido durante la prueba de aislación, ha indicado que para una determinada tensión de prueba, se produce una ruptura (falla - alta corriente a tierra), el valor de la denominada tensión de ruptura, será un indicador clave para la selección del procedimiento de detección a utilizar.

Si la tensión de ruptura, ha resultado cercana a los cero kilovolts aplicados, quizás no resulte posible crear una descarga en arco (flashover) en el lugar de la falla, cuando se utilicen los métodos de impulsos.

Este tipo de falla, a menudo se denomina "falla cerrada" (bolted) o "de metal a metal", que no producirán arco; y por consiguiente ruido en la zona de falla.

Si la tensión de ruptura, se ha ubicado en valores comprendidos dentro del rango de nuestro generador de impulsos, idealmente en el 50% del rango máximo, es de esperarse una buena producción de arco sobre la zona de falla, y por ende un buen sonido "mecánico" sobre la falla, que nos pre-asegure una fácil detección.

Siempre que sea posible, ensaye el cable desde ambos extremos, ya que es probable que el cable esté fallado y abierto (cortado), y que la parte ensayada inicialmente, este aislada de tierra, pero desde el lado opuesto se detecte una falla a tierra.

Si bien esto podría fácilmente ser comprobado con una prueba previa de continuidad de extremos, el realizar un ensayo desde ambos extremos, nos facilitaría el poder determinar, cual sería el mejor extremo para trabajar, durante el proceso de localización.

Algunas razones para la dificultad con estas fallas, son la posible presencia de agua o aceite en la cavidad fallada, o la presencia de fallas múltiples.

**"PRE-LOCALICE"** la Falla (aproxímese)

La selección de una técnica de localización, está basada, por lo menos en parte, en la naturaleza de la falla. A continuación se describen en detalle varias técnicas:

Seccionalizar/ Dividir – Todas las fallas (no se dispone de instrumentos de localización)

Reflectómetro Convencional/ TDR – Fallas que poseen menos de  $200\Omega$  (francas a tierra), y todas las abiertas (fase cortada)

Métodos de reflectometría por alta energía:

Reflexión de arco, reflexión de arco diferencial- todas las fallas que muestren o exhiban un cambio, antes y después de enviar un pulso de alta tensión (energía). Las fallas francas a tierra, y las de alto tiempo de encendido, no son compatibles con esta técnica.

Reflexión de impulso: Todas las fallas.

Decaimiento: Todas aquellas fallas en que la tensión de ruptura, excede el nivel máximo de nuestro generador de impulsos.

Detección de impulso electromagnético – Todos los cortos, y algunas abiertas.

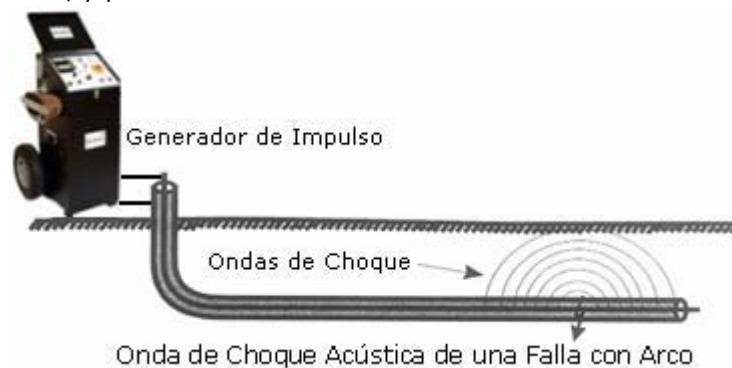
**“PUNTUALICE”** – Ubique con Exactitud la Falla

*La puntualización, a menudo llamada ubicación exacta, es necesaria antes de efectuar la excavación. Después que la zona de falla ha sido determinada, (obtenida la distancia), se conecta un generador de impulso a un extremo del cable fallado, y luego se intentará escuchar en la zona indicada, el ruido “delator” de la falla.*

*Cuando el ruido no es lo suficientemente intenso como para ser escuchado, quizás sea necesario usar un detector de impulso acústico para ubicar con exactitud la falla.*

Al utilizar un generador de impulsos, la descarga instantánea de energía producirá luz, calor y sonido, básicamente un relámpago pequeño controlado, o una falla “controlada”.

Esta pequeña explosión, crea un frente de ondas sonoras, que viajará saliendo de la tierra hacia la superficie. Este evento sísmico/ audible (nótese que se trata de un ruido mecánico), es quien revelará la ubicación exacta de la falla. En algunos casos, la tierra es demasiado densa, o el sonido viaja alejándose en dirección descendente, y permite ser escuchado fácilmente.



Los equipos con sistema de gradiente de tensión, son efectivos para la ubicación exacta de fallas, en cables secundarios enterrados, pero el método depende del tipo de falla existente entre el conductor y tierra. Cuando el cable está ubicado en conducto, se deberá utilizar un método diferente.

Cuando un conductor único está contenido dentro de un conducto plástico, los cortos no pueden ocurrir a menos que el agua gane acceso a través de una grieta u otro punto de entrada.

Cuando una falla se produce, la corriente de fuga fluye desde el conductor a través de la rotura de la aislación, y luego sigue al agua hasta una la zona de rotura del conducto a tierra. Si se utiliza un gradiente de tensión, podría encontrarse la ubicación de la grieta en el conducto, pero la ubicación de la falla en la aislación, podría quedar sin descubrir.

## COMO “VER” LOS PROBLEMAS EN CABLES SUBTERRANEOS

### METODOS DE OPERACION

Los reflectómetros proporcionan un detalle visual de varios eventos en un cable. Estos eventos representan los pulsos reflejados por los cambios de impedancia en el cable analizado, y aparecen en forma sucesiva a lo largo de la línea de base.

Cuando los cursores ajustables se mueven para alinearse con las reflexiones, una lectura digital mostrará la distancia hasta los distintos cambios de impedancias, tales como el extremo del cable, los empalmes.

Siguen a continuación, unas breves descripciones de los cinco métodos más populares.

### **REFLECTOMETRIA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (TDR) O REFLECTOMETRIA CONVENCIONAL**

A menudo denominada radar de baja tensión, este método incluye un analizador con un generador de pulsos, que transmite un tren de pulsos de altas frecuencias en el cable bajo prueba, y un osciloscopio que muestra las distintas reflexiones de estos pulsos.

En la pantalla del TDR, se representan muchos puntos reconocibles de referencia, tales como empalmes, cortes, y fallas del tipo derivación, con una resistencia de menos de aproximadamente  $200\Omega$ .

### **TDR DIFERENCIAL**

Cuando un reflectómetro convencional de dos canales, se programa para presentar en su pantalla la diferencia algebraica entre dos trazas obtenidas, se denomina TDR diferencial. Si las dos trazas son idénticas, el display mostrará una línea completamente plana.

Esto puede ser útil cuando se localizan fallas en un sistema trifásico, donde la fase fallada puede compararse con una fase buena. Cuando se utiliza un TDR diferencial, la falla se ubicará probablemente colocando el cursor en donde exista una diferencia entre ambas trazas.

### **REFLEXION DE ARCO**

A menudo mencionado como uno de los métodos de radar de alta tensión, este método supera la limitación de  $200\Omega$  del reflectómetro convencional. Además del TDR, para operar bajo este método, se necesitan un filtro de reflexión de arco, y un generador de impulsos.

El generador de impulsos proporciona una gran elevación de corriente en el lugar de la falla, creando un cortocircuito momentáneo, que el TDR puede llegar a capturar y mostrar, como una reflexión en sentido descendente. El filtro es el encargado de proteger al TDR, de los pulsos de alta tensión, generados por el generador de impulsos.

### **REFLEXION DE ARCO DIFERENCIAL**

Este método de reflectometría de alta energía, es básicamente una extensión de la reflexión de arco. Requiere también del uso de un generador de impulsos, un filtro de reflexión de arco, y un analizador. El analizador mostrará la diferencia algebraica entre la traza de baja tensión (reflectometría convencional), y la subsiguiente traza obtenida bajo un arco de alta tensión.

La reflexión de arco diferencial elimina todas las reflexiones idénticas antes de la falla. La primera reflexión descendente que aparece en el reflectogramas obtenido (falla), se podrá ahora identificar fácilmente.

### **REFLEXION DE CORRIENTE DE IMPULSO**

*Esta técnica requiere del uso de un acoplador de impulsos (acoplador lineal), un generador de impulsos, y un analizador.*

*El analizador hace el trabajo de un osciloscopio con memoria, que captura y muestra reflexiones desde la falla, producidas por los pulsos de alta tensión del generador de impulsos. El analizador opera en una forma pasiva, como un registrador de impulsos.*

*El empleo de impulsos de alta energía, es especialmente efectivo en la localización de fallas en tramos muy largos, y en cables con fallas difíciles de ionizar (alto tiempo de encendido), que no se evidencian en forma efectiva utilizando la reflexión de arco.*

### **QUEMADO DE UN DEFECTO**

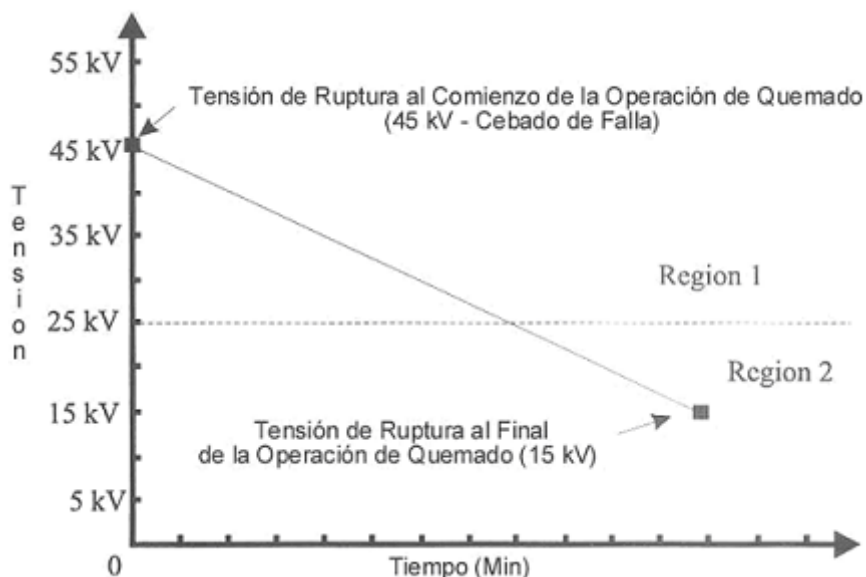
El denominado método de quemado, o de acondicionado de la resistencia de falla, es utilizado cuando una falla no logra formar arco con la tensión máxima disponible en el generador de impulsos empleado. O sea que ponemos toda la tensión disponible en el cable, pero aún así, no se producen descargas (arcos) en la falla. Esto es debido a las características eléctricas de determinadas fallas, que no obstante pueden ser, de alguna manera alteradas (cambiadas), por una operación de quemado.

Se realiza mediante un aumento progresivo de la tensión de prueba en el cable, hasta que la falla se descomponga (ruptura), y luego incorporando una corriente estable o en aumento, se produce el efecto de quemado o carbonizado de la falla, lo que a su vez, disminuye su resistencia, y reduce la tensión necesaria para la descomposición.

De allí el término "quemado", que acondiciona la falla, para que se descomponga a una tensión de ruptura menor, y produzca el evento sísmico, o ruido mecánico, producto de un arco.

Los distintos estudios, indican que la operación de quemado también puede ser detrimento para la longevidad de los cables de tipo XLPE, y por lo tanto, debe ser usada sólo con moderación en este tipo de cable.

El quemado es común en los cables PILC, y no tiene efectos nocivos para los mismos. Ver Figura.



#### Efecto del Quemado sobre la Tensión de Descomposición

En la ilustración de arriba, la falla existe inicialmente en la Región 1, pero se trata de una zona que excede la tensión máxima de nuestro generador de impulsos.

Después de la etapa de quemado, la falla es desplazada hacia la Región 2, donde ahora es posible cebar la falla, para ubicarla con mayor exactitud.

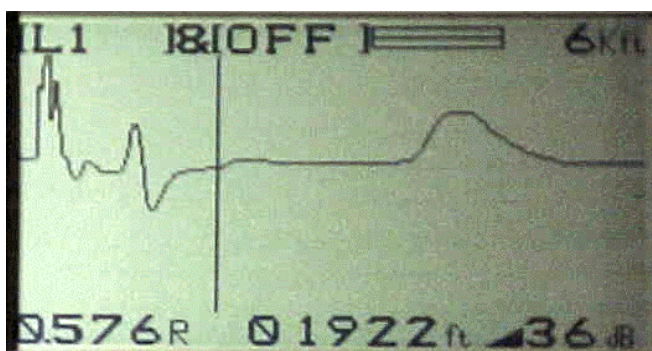


Interpretando las particularidades halladas en un determinado reflectograma – por ejemplo, que los pulsos incidentes y reflejados sean de igual o distinta polaridad – permite clasificar la naturaleza de la discontinuidad, y relacionarla según sea, como cable cortado, o falla a tierra.

Conociendo la velocidad de propagación  $V_f$ , con la fórmula anterior se podrá definir la ubicación de la misma.

Un reflectómetro solo pide al operador que identifique con los cursores, los puntos característicos del reflectograma (pie del pulso incidente y pie del pulso reflejado en la falla o el cambio de impedancia de interés), y el presentará en su pantalla, un resultado expresado en metros

La figura muestra un reflectograma real obtenido en un cable averiado.



Es bueno recordar, que el coeficiente de reflexión de tensiones, es una función de la impedancia característica del cable ( $Z_0$ ), y de la resistencia de falla ( $R_f$ ), calculándose con la fórmula:

$$R = - Z_0 / ( 2 R_f + Z_0 )$$

Queda demostrada claramente, la inestimable ayuda que significa para el operador, poder referenciar la falla con empalmes, derivaciones, cambios de sección etc. Precisamente la propiedad del reflectómetro convencional, de poder "ver" dentro del cable, ha hecho que tenga aplicaciones paralelas a las de la localización de fallas.

Una de ellas es "medir" la calidad de un empalme por la amplitud de la reflexión que el mismo produce. Análisis estadísticos, han demostrado que aquellos empalmes que presentan una reflexión muy grande y fácilmente identificable en un reflectograma, tienen una mayor probabilidad de falla que aquellos cuya reflexión es prácticamente imperceptible. Este tema de la reflexión en empalmes, merece un capítulo de estudio, aparte.

Si bien este método de localización de fallas luce muy atractivo, presenta ciertas limitaciones, sobre todo en media y alta tensión, debido a que no resuelve las fallas de alta resistencia, y las del tipo flash, que por otra parte, en esas tensiones, son las más comunes.

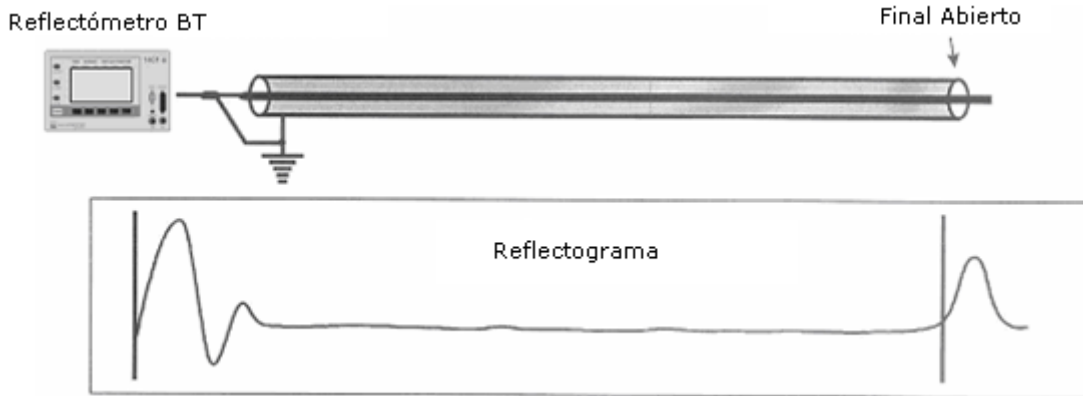
Como se vio en párrafos anteriores, la amplitud del pulso reflejado es función, fundamentalmente, del coeficiente de reflexión, y este tipo de fallas posee valores óhmicos muy elevados, lo que implica un coeficiente de reflexión muy bajo. Esto hace que las fallas mencionadas, sean invisibles para el reflectómetro convencional.

## TDR - DESCRIPCION Y APLICACIONES

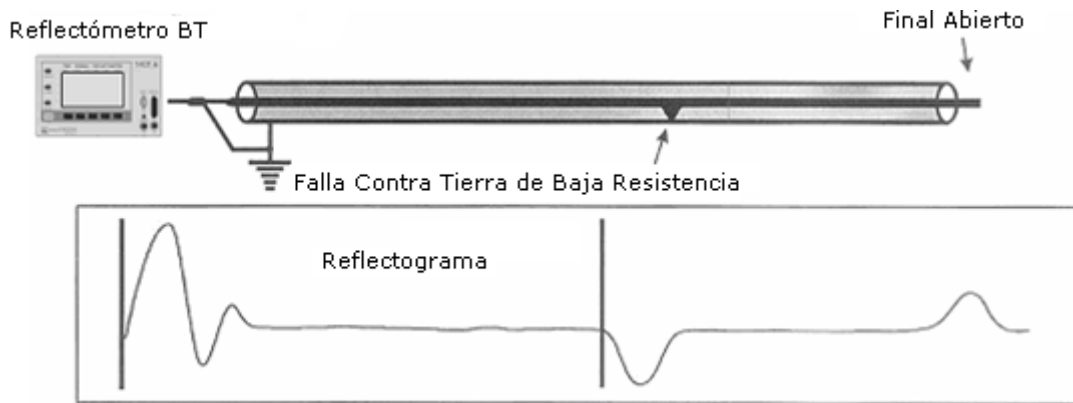
El reflectómetro convencional, a menudo denominado TDR, es un método apropiado para localizar fallas y otros cambios de impedancias en cables eléctricos.

Los TDRs están disponibles en configuraciones manuales pequeñas y portátiles. Combinan e integran las funciones de un generador de pulso y de un osciloscopio en un mismo paquete.

Los TDRs transmiten pulsos de salida de baja tensión y alta frecuencia, que viajan por el cable a ensayar. Cuando cambia la impedancia del cable, algo o toda la energía transmitida es reflejada de nuevo hacia el TDR, visualizándose en su pantalla. Ver Figuras de reflexiones típicas.



TDR Utilizado para Medir la Longitud del Cable con el Extremo más Alejado Abierto

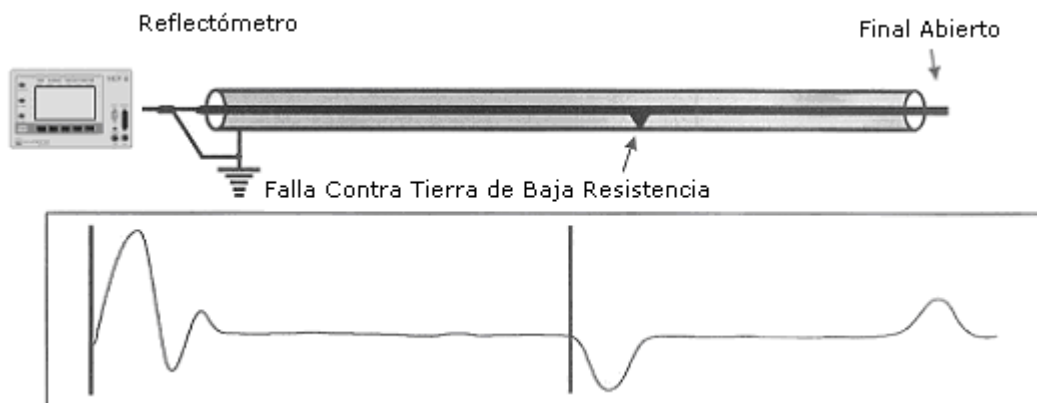


TDR Utilizado Para Medir la Longitud del Cable con el Extremo más Alejado en Corto

Los cambios de impedancias, son causados por una variedad de perturbaciones del cable, incluyendo las fallas y puntos de referencias, tales como extremo de cable, empalmes o derivaciones.

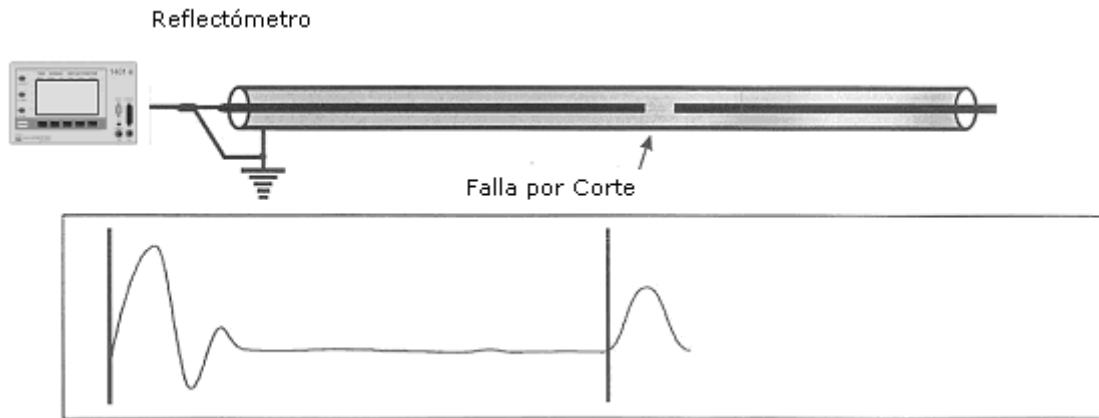
### FALLAS QUE MOSTRARAN LOS TDRS

Las fallas de baja resistencia entre el conductor y tierra o las fallas entre conductores son mostradas como reflexiones descendentes en la pantalla. Los cortes presentan una muy alta resistencia de falla, y por lo tanto son mostrados como reflexiones ascendentes. Ver figuras.



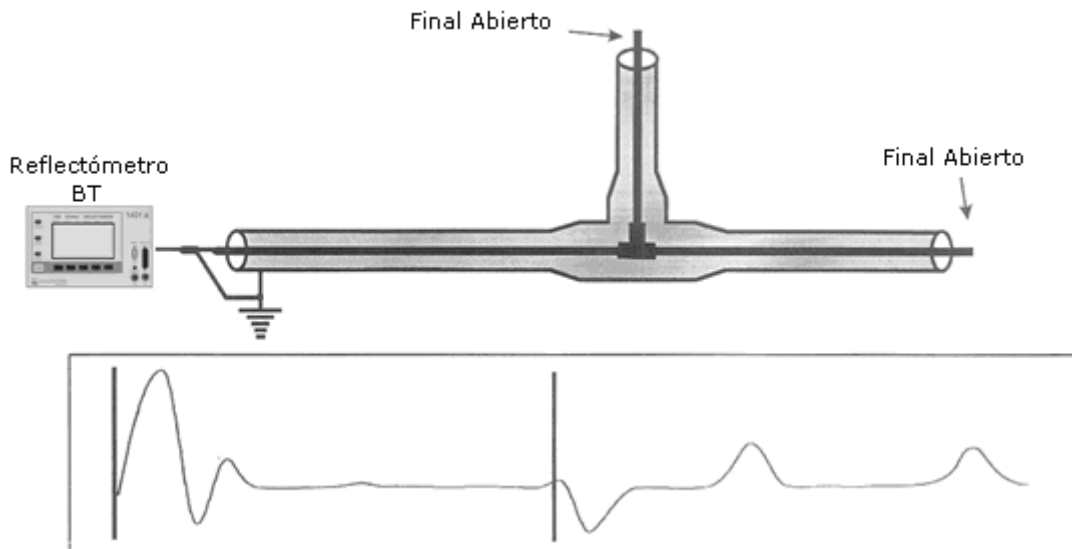
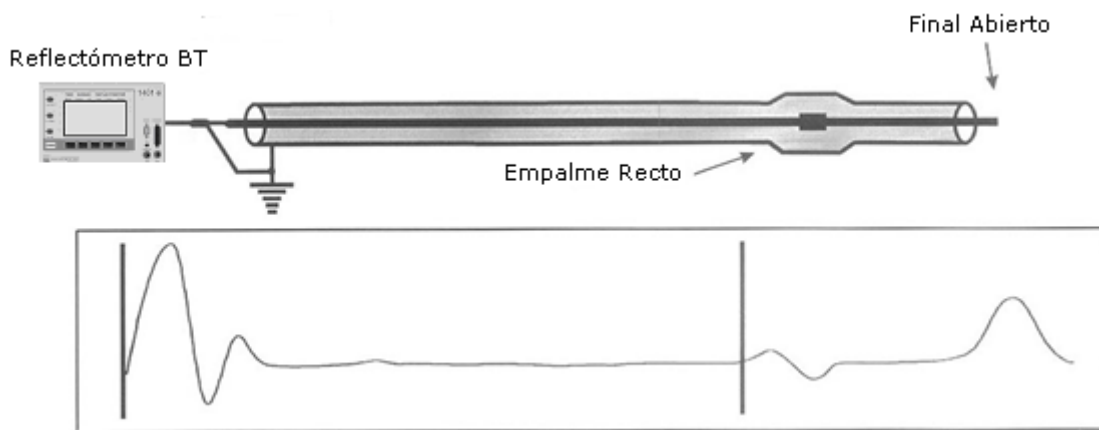
TDR Midiendo la Distancia a una Falla de Baja Resistencia a Tierra



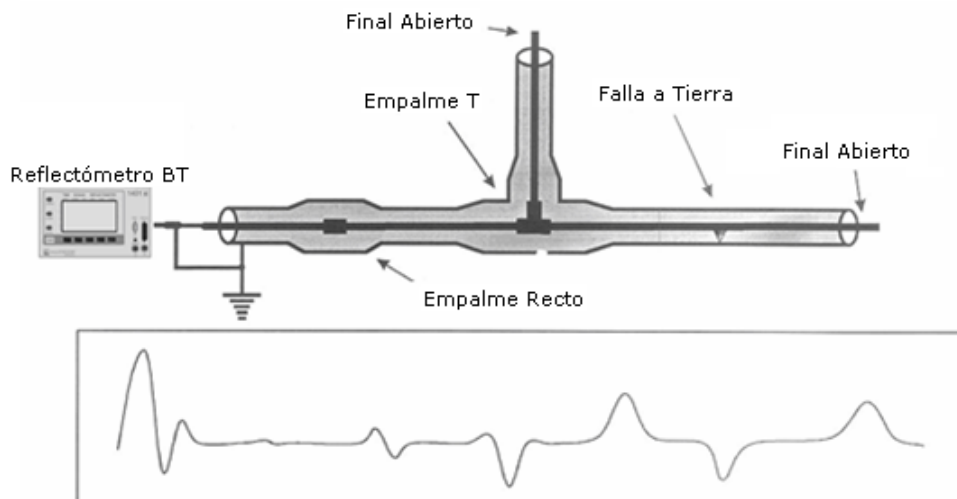


**PUNTOS DE REFERENCIA QUE MOSTRARÁ EL TDR**

Los TDRs pueden localizar muchos puntos de referencia, tales como empalmes, uniones o derivaciones. Ver figuras.



El TDR ayuda a determinar la ubicación de fallas, en forma relativa a otros puntos de referencia en el cable. Esto es especialmente útil en los circuitos complejos. Las trazas de circuitos complejos, son necesariamente también muy complejas y difíciles de interpretar. Para darle sentido a estas trazas complejas, es extremadamente útil confirmar la posición de los puntos de referencia, en forma relativa con respecto a las fallas observadas. Ver figura.



TDR Usado Para Localizar la Distancia a una Falla en Forma Relativa a un Punto de Referencia

## CONTROLES Y ENTRADAS DE UN TDR

Debe suministrarse cierta información al TDR antes de que este pueda proporcionar información de distancia. Lo más importante es la velocidad de propagación, o sea la velocidad a la cual el pulso transmitido viajará por el cable testeado. Este valor es usado por el TDR, para convertir la medición de tiempo en una de distancia. Este valor depende principalmente del tipo de aislación del cable y de su forma geométrica. Una tabla de valores de velocidad se encuentra en los manuales de instrucción. Un método alternativo para determinar un valor de velocidad desconocido es:

Si la longitud del cable es conocida, o está disponible en su carrete, se puede usar el determinar la velocidad de propagación, mediante los siguiente pasos:.

1. Colocar el cursor derecho al final del cable; o sea en la reflexión en sentido ascendente al final del reflectograma.
2. Colocar el cursor izquierdo al principio del cable; o sea en la primer reflexión en sentido ascendente, en el inicio del reflectograma.
3. En forma independiente al valor leído inicialmente en metros, se procederá a ajustar la velocidad, hasta que se muestre la distancia correcta. Esa será la velocidad buscada.

Cuanto más larga sea la muestra de cable, mejor será para la determinación exacta de la velocidad.

### **RANGO:** (medir en el rango exacto)

Siempre debe asegurarse que el rango seleccionado en el TDR, permita "ver" a toda la longitud del cable a analizar.

Se entiende como rango de un TDR, a la máxima longitud de cable que se puede llegar a exhibir en pantalla. Por ejemplo, un TDR posicionado en un rango de 1000 metros, solo podrá "ver" en el interior de un cable, hasta los 1000 metros, aunque este posea un largo mucho mas extenso.

Del mismo modo; posicionando un TDR en un rango de 1000 metros, un cable de 200 metros podrá ser visto 5 veces en forma consecutiva, dentro de ese rango; y solo dos veces para un rango seleccionado de 500 metros.

Mientras mayor sea el rango seleccionado, con respecto a la longitud real del cable, menor será la definición del reflectograma obtenido, para seleccionar el rango exacto de trabajo, se deberá elegir un Rango que muestre la reflexión final en sentido ascendente, o sea el final del cable bajo prueba. Moviendo el cursor derecho hacia el pie de esta

reflexión final, se medirá entonces la longitud total. Para estar seguros que esta medición corresponde al final del cable (largo total), se podrá colocar un corto en el extremo opuesto en que se halla conectado el TDR. Si al colocar el corto, la reflexión final, cambia en sentido descendente, entonces estaremos realmente seguros que ese punto corresponde al final del cable.

Si el conductor de fase ha sido completamente cortado en algún lugar a lo largo del trayecto, no habrá cambios cuando se aplique el corto en el extremo opuesto del cable. Si una medición en ese extremo abierto es mucho menor que la longitud conocida de cable, significa que hay un abierto en el trayecto. A esta altura es una buena práctica hacer una segunda lectura con el TDR, desde el extremo opuesto del cable. Cuando la segunda lectura es agregada a la primera lectura, el total debería ser igual a la longitud estimada total del trayecto. Si el total es sustancialmente menor que la suma de las dos lecturas, significará que existe un abierto adicional en la sección de cable, o que la velocidad se fijó demasiado baja.

Cuando los ensayos preliminares, indican una resistencia de falla de menos de  $200\Omega$  en la sección, quizás no aparezca el extremo opuesto de la sección de cable en la traza del TDR. En este caso se producirá una reflexión en sentido descendente, en la ubicación de la falla de baja resistencia.

#### **GANANCIA** (la ganancia es solo una cuestión visual)

A menudo es necesario que el operador aumentar la **Ganancia** en un cable muy largo, o en un cable con muchos cambios de impedancias en su recorrido, o cuando está conectado a un circuito complejo. Cambiar la Ganancia simplemente aumenta la amplitud de la altura de las reflexiones en el display. Este ajuste es generalmente una preferencia personal. Se debe tener en cuenta que se trata solo de una cuestión visual o de confort visual, y que en ningún caso cambia la exactitud de la medición.

Un operador experimentado, generalmente realiza una misma medición, a distintas ganancias, para poder percibir mas detalles del reflectograma.

Analizando un reflectograma, cuando alguien expresa el tema de observar "un gran cambio de impedancia"; significa que no lo hace en función de la ganancia seleccionada, si no en función (comparación), a los cambios observados en el resto de las discontinuidades del reflectograma.

#### **CURSORES** (un TDR nunca se equivoca)

A diferencia de los instrumentos de lectura directa (voltímetros /amperímetros, etc.), en donde el propio instrumento señala la magnitud de interés; el TDR, por el contrario, exhibe una amplia grafica o reflectograma real del cable analizado, y el operador es aquí, quien debe decidir que es lo que le interesa dentro de ese complejo panorama visual, expuesto en una pantalla.

Es decir que el TDR no se equivoca nunca en un resultado de una medición; por el contrario, es el operador quien puede llegar a equivocarse en establecer entre cuales de todos esos puntos, debería posicionar sus cursores, para resolver su incógnita de ubicación de la falla.

Los cursores del TDR, posibilitan las mediciones en metros, sobre los puntos del reflectograma, que el operador señalará como de interés o de estudio.

Usualmente, moviendo el cursor derecho hasta la reflexión de interés, el TDR calculará su distancia. Durante la calibración en la fábrica, el "Cero" o posición del Cursor Izquierdo, se ubica en los mismos terminales (conectores) de salida del TDR.

Si se utilizan cables de salida de distintos largos, será necesario restar la longitud del cable de salida de todas las distancias medidas con los cursores.

Recuerde que el TDR mide cada metro de cable, desde el conector en el instrumento, hasta la reflexión que interesa. Cuando los cables de salida son especialmente largos (50 metros de longitud en la mayoría de los sistemas ubicados en vehículos móviles), a menudo es conveniente que se fije el Cursor Izquierdo (o metros), en el punto donde los cables de salida se conectan al cable bajo ensayo.

Cuando se calibra de esta manera, la distancia indicada por el Cursor Derecho, no incluirá la longitud de los cables de salida.

Para realizar esta calibración en campo, antes de conectar los cables de salida, simplemente se deberá colocar en corto los extremos, y posicionar el cursor izquierdo en el inicio del cambio de impedancia, mientras el TDR ve un abierto y luego un corto.

Recuerde que para todas las mediciones del TDR, el cursor se posiciona del lado izquierdo del punto de interés en el gráfico, justo donde la reflexión comienza a abandonar la línea de base horizontal ya sea hacia arriba o hacia abajo.

## ZOOM

Cuando han fijado los **Cursores** en la reflexión que de interés, la distancia en metros a ese punto del trayecto del cable, aparecerá en la lectura. Cuando se incluye el elemento Zoom, como variable visual, la zona centrada alrededor del cursor se expandirá según el factor Zoom seleccionado.

A menudo se utiliza la función zoom, para fijar el cursor en una posición más precisa, pero al mismo tiempo, al activarse el modo Zoom, la reflexión se ensancha y pierde definición.

## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACION

Cuando se mide sobre un reflectograma, para determinar la distancia a la falla, el reflectómetro digital, lo que medirá en realidad es el factor tiempo, y calculará automáticamente dicha distancia, según la siguiente fórmula:

$$L_x = \frac{1}{2} V_p ( t_m - CEQ )$$

Donde:

$L_x$  = Distancia a la falla en metros.

$V_p$  = Velocidad de propagación en metros/ $\mu$ s

$t_m$  = Tiempo medido en  $\mu$ s (tiempo que separa a ambos cursores)

CEQ = Constante del equipo de medición en  $\mu$ s. (largo en  $\mu$ s del cable de salida del equipo)

De dicha fórmula se desprende que la precisión en la determinación de  $L_x$  dependerá del conocimiento de  $V_p$ . (velocidad de propagación).

Para la medición de la velocidad de propagación, se deberá conocer la longitud del cable en falla, y además contar con por lo menos, una fase sana, o en falla pero con tensión de cebado relativamente alta (superior a los 10 Kv).

De no ser esto posible, se deberá utilizar un valor de  $V_p$  estimado para el cálculo de  $L_x$ , utilizando los valores que se sugieren en la tabla al final de este punto.

TIPO DE CABLE	$V_p / 2$ (m / $\mu$ s)
Cables de Energía (aislación papel aceite)	80 a 86
Cable de Energía ( aislación sintética EPR -XLP)	75 a 90
Líneas aéreas (energía o comunicación)	146 a 148
Cables de telecomunicaciones	110 a 125
Cables de televisión	> 120

## SECCION VI

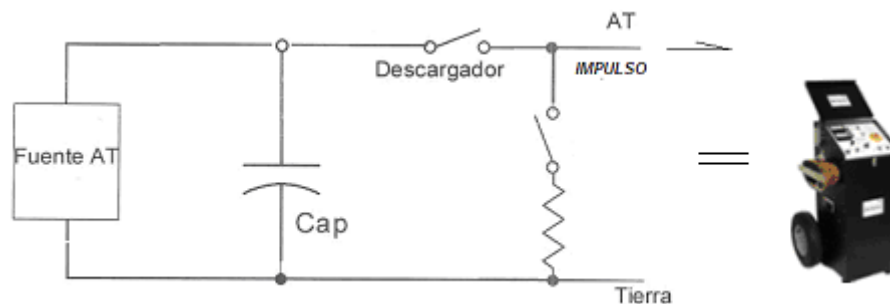
### GENERADORES DE IMPULSOS, FILTROS Y ACOPLADORES

#### GENERADORES DE IMPULSOS

En los últimos años, los generadores de impulso o "thumpers", han creado una importante controversia, porque es probable que sean destructivos para los cables aislados XLPE.

La investigación indica que la alta tensión de ensayo (CC), usada indiscriminadamente en los cables del tipo XLPE, puede ser dañina.

Esto no es cierto con los cables PILC, donde se necesita generalmente una tensión más elevada, y una mayor energía para localizar fallas. Simplemente este equipo no es mucho más que una fuente de energía que carga un capacitor, y una llave que descarga la energía almacenada en este capacitor, sobre el cable bajo ensayo.



*Diagrama en Bloque del Generador de Impulso*

El empleo del generador de impulso requiere aislar la sección del cable bajo ensayo, siguiendo todas las normas de seguridad, y conectando el equipo como corresponde.

Durante todo el proceso de localización, el cable es impactado con una elevación de alta tensión, y con una corriente instantánea en el orden de los miles de amperes.

Sin medios de pre-localización (reflectómetros de alta energía), mientras se efectúan los "disparos", se deberá caminar toda la ruta del cable, tratando de escuchar las descargas. Dependiendo de la energía disponible en el generador, la tensión de ensayo, sonidos de fondo, el tipo de falla, y la profundidad del cable, esto podría llevar mucho tiempo.

Los generadores de impulsos, por lo menos en el caso de los cables XLPE, pueden caer en la categoría de ensayos destructivos. Si bien no destruyen por completo a la muestra, los largos períodos de "bombardeo" en alta tensión, pueden contribuir a acelerar su daño, y conducir a una falla prematura.

También pueden acelerar problemas menores, o de fallas incipientes; por lo tanto, todo indica que en la reducción de los tiempos de bombardeo, radica el profesionalismo del operador en la tarea de detección de fallas.

La energía producida por un generador de impulsos se mide en Joules (watt-segundos). Un watt, producido durante un segundo, equivale al trabajo de un Joule. Matemáticamente, 1 watt x 1 segundo = 1 Joule.

Cuanto más Joules, mayor será el ruido. La energía, en Joules, producida por un generador de impulso puede calcularse con la fórmula:

$$E = C/2 \times V^2$$

O sea, el "tamaño" (capacidad) del capacitor en micro-faradios ( $\mu F$ ), dividido por 2, multiplicado por la tensión de ensayo (kv) al cuadrado.

Como ejemplo, si un generador de impulso dado contiene un capacitor de 12  $\mu F$ , y se carga hasta 16 kv, y luego se descarga sobre la muestra, producirá 1536 Joules o watt-segundos de energía.

## EL FACTOR CAPACITANCIA ELECTRICA

El capacitor del generador de impulsos, almacena energía eléctrica hasta que es descargado sobre el cable bajo ensayo. Un capacitor acumula energía en función a la tensión seleccionada; si un capacitor de 4  $\mu\text{F}$  y un capacitor de 12  $\mu\text{F}$  son cargados a 25 Kv y luego conectados a la misma carga (cable bajo ensayo), el capacitor de 4 $\mu\text{F}$  entregará 250 Joules de energía, mientras que el capacitor de 12  $\mu\text{F}$  entregará 750 Joules.

Los cables por su propia naturaleza son capacitivos, esto surge del concepto básico que un capacitor está formado por dos conductores separados por un aislador. Un cable de energía tiene dos conductores metálicos, un conductor de fase y el otro neutral concéntrico.

Estos dos conductores están separados por aislaciones de XLPE, EPR o papel impregnado en aceite.

Deberá tenerse cuidado aún cuando el cable no esté energizado, porque este capacitor retendrá una carga hasta que se lo conecte a tierra.

Debido a esto, debe prestarse atención a las conexiones a tierra y a los procedimientos de seguridad antes de hacer ningún trabajo con cables.

Si la capacitancia eléctrica del capacitor del generador de impulsos, es pequeña, comparada con la capacitancia eléctrica del cable, la falla no se descargará hasta que la capacitancia del cable esté completamente cargada.

Si la capacitancia del cable es pequeña, comparada con la capacitancia del generador de impulsos, la falla se arqueará en el primer intento. Cuanto más largo es el cable, más alta será su capacitancia.

## ENERGIA CONSTANTE VERSUS ENERGIA PROGRESIVA

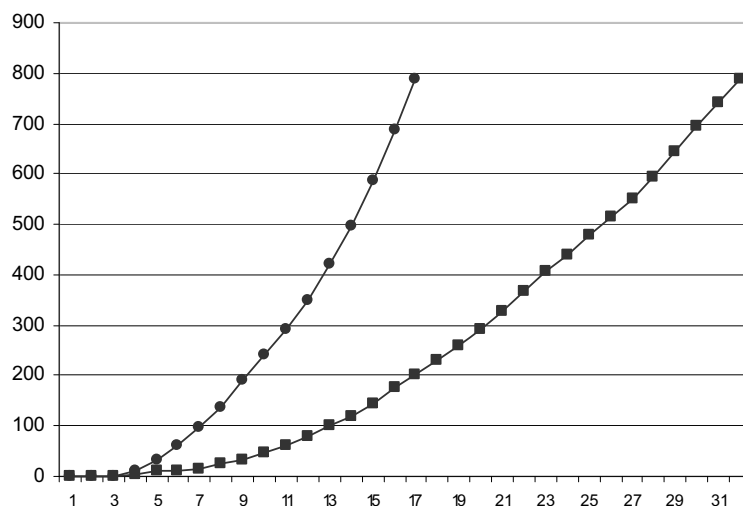
Actualmente están disponibles dos tipos de generador de impulsos, uno referido a los de energía constante, y el otro a los de energía progresiva.

Las unidades de energía constante, contienen dos ó más capacitores, con un rango de tensión correspondiente para cada capacitor.

La energía es solo constante a la máxima tensión de cada rango. Un típico ejemplo es un generador de impulso con dos rangos de tensión de 0 a 16 kv y de 0 a 32 kv.

Cuando se selecciona el rango de 16 kv, se carga un capacitor de 14  $\mu\text{F}$ , y cuando se selecciona el rango de 32 kv, se utiliza un capacitor de 3,5  $\mu\text{F}$ .

En este caso significa que la energía permanecerá constante al usar el rango de 16 kV o al usar el rango de 32 kV, con una energía de 787 Joules. Ver figura.



Energía Versus Tensión Para un Generador de Impulso de 3,5  $\mu\text{F}$ / 14  $\mu\text{F}$  de Energía Constante