

---

## EMPALMES DE CABLES SUBTERRANEOS - IDENTIFICACION DE ESTADO POR REFLECTOMETRIA CONVENCIONAL Y CAMBIOS DE IMPEDANCIAS

**PABLO PORFIRI**  
**Inducor Ingeniería S.A.**  
**Argentina**

**ROGELIO CORTEGOSO**  
**Inducor Ingeniería S.A.**  
**Argentina**

**Resumen** – Se dice que la Reflectometría Convencional, permite “ver” en el interior de un cable, y a lo largo de todo su recorrido. Un empalme que forma parte de un tendido subterráneo, puede ser analizado en cuanto a su calidad de confección / estado actual, por medio de la aplicación de las técnicas de reflectometría convencional. Pero más allá de esa calidad de confección, la gráfica reflectométrica del mismo, dependerá en mayor medida de factores tales como su ubicación (lejanía o cercanía con respecto al lugar de medición), la cantidad total de empalmes existentes en el tendido, y a la existencia o no de otros empalmes ubicados en forma previa al analizado..

Entre otros aspectos, la forma del reflectograma o gráfica reflectométrica de un empalme, dependerá de:

1º- LA ATENUACION Y PERDIDA DE POTENCIA.

2º- EL FACTOR LONGITUD DEL CONDUCTOR.

3º- EL FACTOR DE UBICACION O POSICION FISICA ALEATORIA DE UN EMPALME.

A diferencia de lo que sucede con un instrumento de lectura directa, en donde la magnitud a leer queda definida numéricamente, sin lugar a discusiones; en un reflectómetro aparece ahora el término “interpretación”, es decir que el especialista no tendrá ante sus ojos un valor numérico absoluto, si no que deberá interpretar una gráfica (gráfica reflectométrica), la cual seguramente contendrá todas las respuestas a sus preguntas, pero deberá “interpretar” según su raciocinio, que es lo que le está indicando la misma.

Mientras más largo es el cable a ensayar, y mayor cantidad de empalmes o cambios de impedancias posea; mayor será la atenuación que sufrirá la señal de reflectometría en el dominio del tiempo, a lo largo del cable que recorre. Para un mismo empalme (idéntico), la altura de la gráfica de su señal (cambio de impedancia), no será nunca una constante, y dependerá entre otros factores, de su ubicación física dentro del recorrido del cable analizado.

**Palabras clave:** Reflectómetro - TDR (Time Domain Reflectometry) – Cambio de Impedancia - empalmes –reflectograma.

### 1 INTRODUCCIÓN

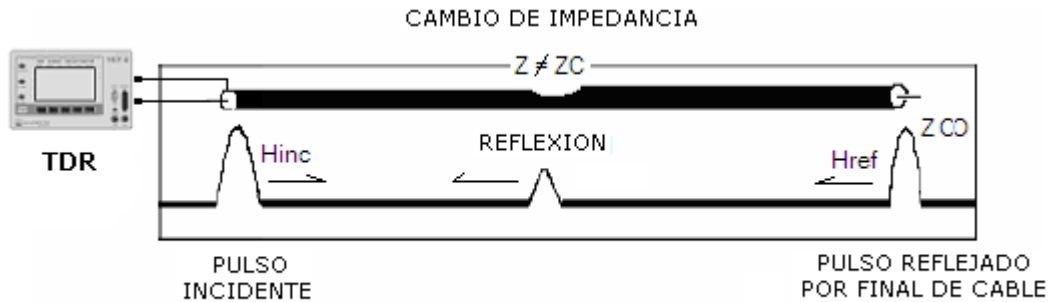
Un reflectómetro TDR, (emisor de señales pulsantes, de una tensión aproximada de 6 a 24 Vpp, y una frecuencia del orden de los khz), es un dispositivo específicamente diseñado para medir tiempos, los cuales serán traducidos a unidades de longitud en función de la velocidad de propagación que el usuario determine para cada caso.

Un TDR identifica y posiciona temporalmente mediante una reflexión de su señal incidente, todo cambio de impedancia en un cable. Estos cambios de impedancias pueden ser atribuidos a una gran variedad de circunstancias, entre ellas daños en el cable, ingreso de humedad, cambios en tipo de cable, instalación inapropiada, radios de curvaturas extremos.

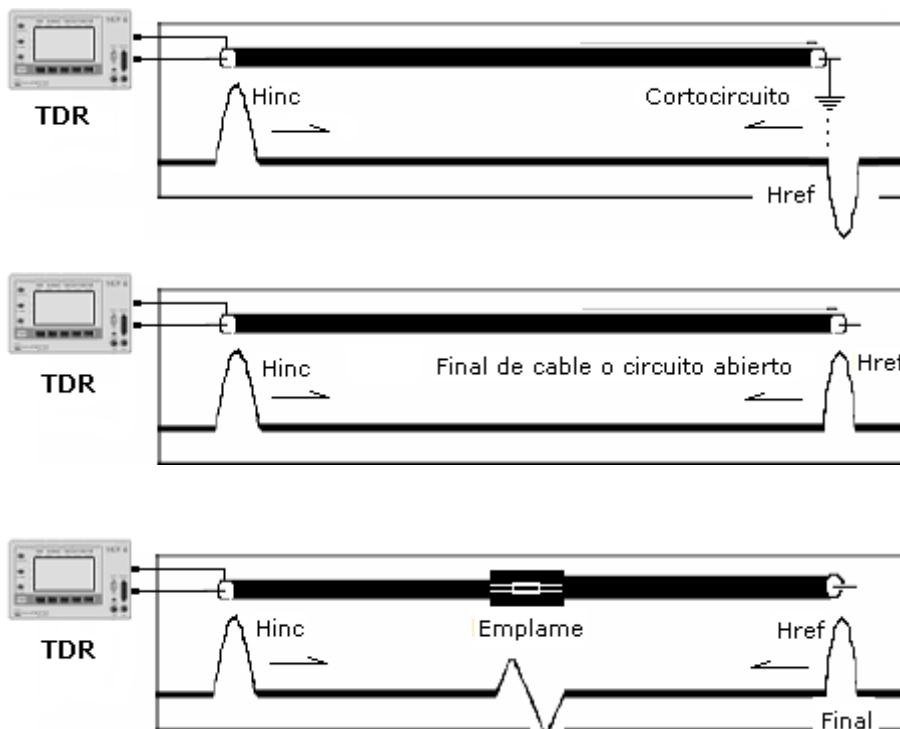
## 2 GENERALIDADES

Las reflexiones de los pulsos incidente enviados al cable por el TDR, se producen ante cada cambio de impedancia que estos pulsos encuentren a lo largo del cable.

La naturaleza de estos cambios, son los que determinarán la amplitud (altura), y tipo, de esas reflexiones (positivas y/o negativas).



Señales básicas características de la reflectometría en el dominio del tiempo:

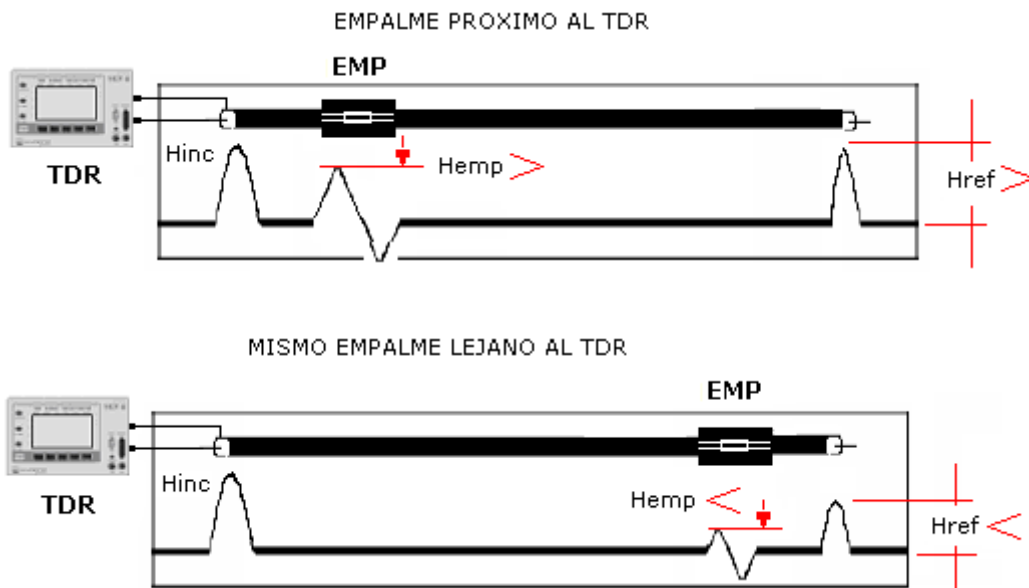


### 2.1 EMPALMES Y SUS GRAFICAS REFLECTOMETRICAS:

#### 2.1.1 Dependencia en función a su ubicación a lo largo del cable analizado.

La altura de la imagen (señal), de un empalme, aun siendo el mismo empalme (léase de la misma calidad, material, etc.), será diferente, según la ubicación o posición física del mismo a lo largo del cable analizados. Un mismo empalme, ubicado próximo al final del cable, producirá una menor reflexión, que su similar ubicado próximo al punto de conexión del TDR.

En otras palabras, un mismo empalme ubicado a 100 metros del inicio del cable, no produce la misma altura de señal que si estuviera ubicado a 1000 metros.



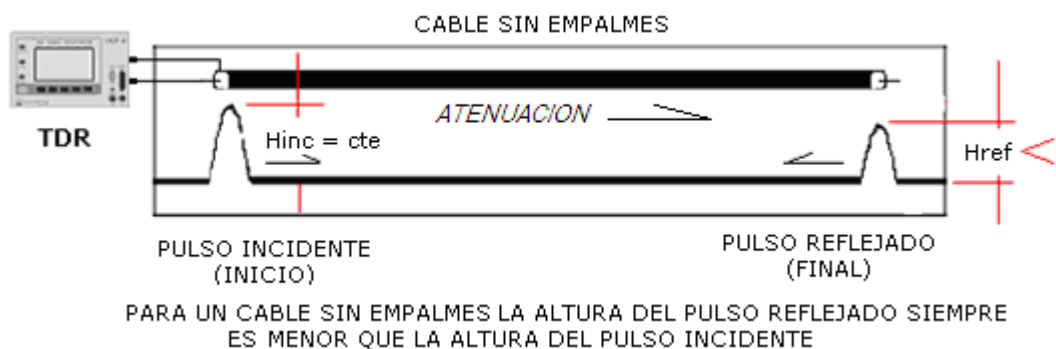
Para una misma calidad de empalme, pero ubicados a distintas distancias con respecto al punto de medición, tanto la altura de la reflexión producida por el empalme, como la del extremo opuesto son distintas, producto de la atenuación.

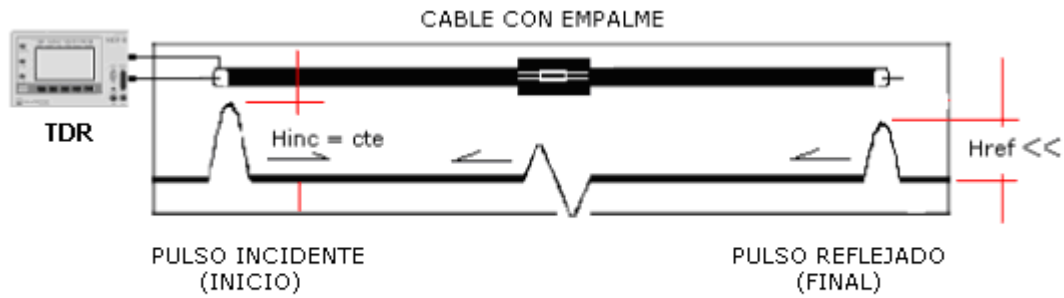
Intentar determinar un criterio de aceptación y/o rechazo de un empalme, basado en la comparación de alturas, entre la imagen (señal) al final del cable, con respecto a la producida por cada uno de los empalmes, se tornaría inviable, ya que por los factores de atenuación / pérdidas, tanto la altura de la imagen (señal) de un empalme, como la altura de la imagen (señal) del final del cable, no podrán llegar a ser ni una constante del sistema, ni proporcionalmente “medibles o comparables”.

Muy por el contrario, y basado en al teoría de transmisión/reflexión de ondas en el dominio del tiempo, ambas alturas de señales (empalmes/final de cable), dependerán en forma aleatoria, de la posición física de el, o de los empalmes a lo largo del cable.

Mientras más cercano del punto de medición se encuentre un empalme, mayor será la altura de su señal y mayor será también la altura de la señal producida por el final del cable.

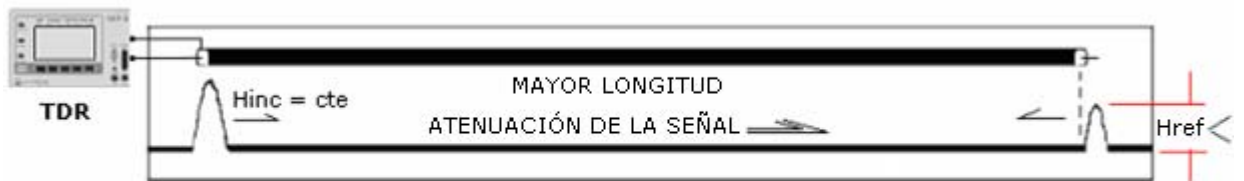
**2.1.2 Factor existencia o no de otros empalmes:** (Href., dependiente de la presencia de otros empalmes).





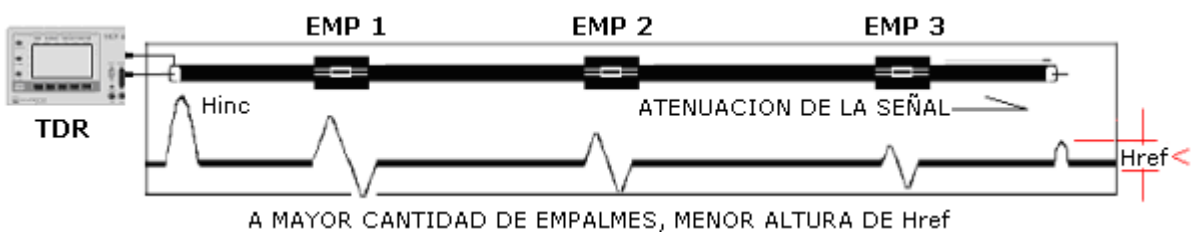
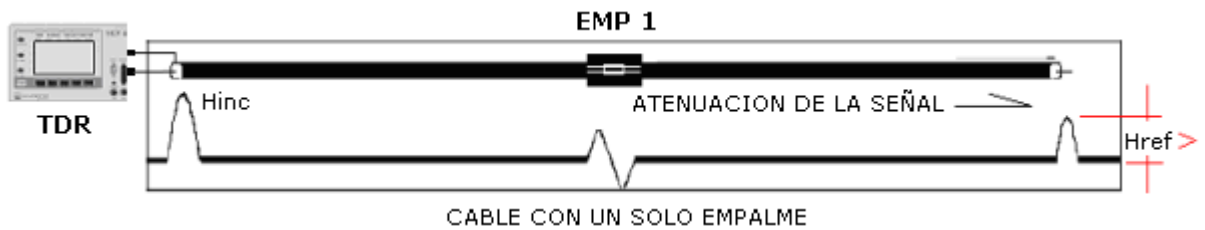
PARA UN CABLE CON EMPALMES, LA ALTURA DEL PULSO REFLEJADO ES MUCHO MENOR QUE LA ALTURA DEL PULSO INCIDENTE

**2.1.3 Factor Longitud del Cables:** ( $H_{ref}$ ., dependiente de la longitud del cable)



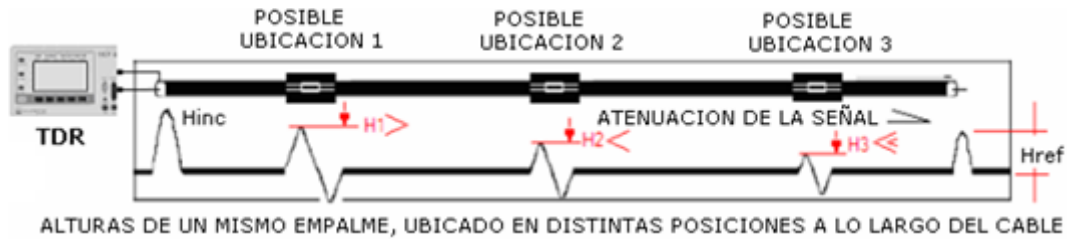
PRODUCTO DE LA ATENUACION, A MAYOR LONGITUD DE UN CABLE, MENOR ALTURA DEL PULSO REFLEJADO AL FINAL

**2.1.4 Factor Cantidad de empalmes:** ( $H_{ref}$ ., dependiente de la cantidad de empalmes en el cable)



**2.1.5 Factor ubicación física del empalme analizado:**(Tanto Href como Hemp, son dependientes de la ubicación física del empalme a lo largo del cable).

Aun tratándose de un mismo empalme, la altura de su gráfica, dependerá también de su ubicación espacial a lo largo de cable analizado.



**2.1.6 Factor Cantidad de Empalmes Previos:** (Hemp, es dependiente de la cantidad / ubicación física de cada uno de los otros empalme en el cable).

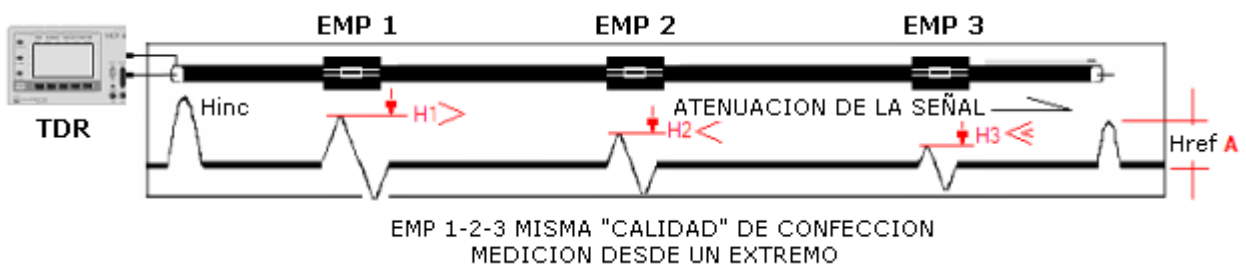
Dependiendo de las cantidades, y ubicación física entre el TDR y el empalme analizado, la altura de su grafica variará.

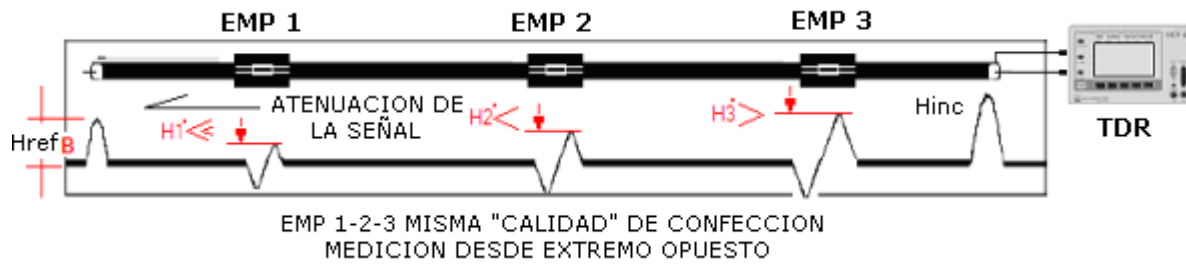


CUANTO MAYOR CANTIDAD DE EMPALMES SE UBICUEN ENTRE EL TDR Y EL EMPALME ANALIZADO, MENOR SERA LA ALTURA DE SEÑAL QUE PRESENTE EL MISMO

**2.1.7 Factor Ubicación del TDR:** (extremo de medición seleccionado)

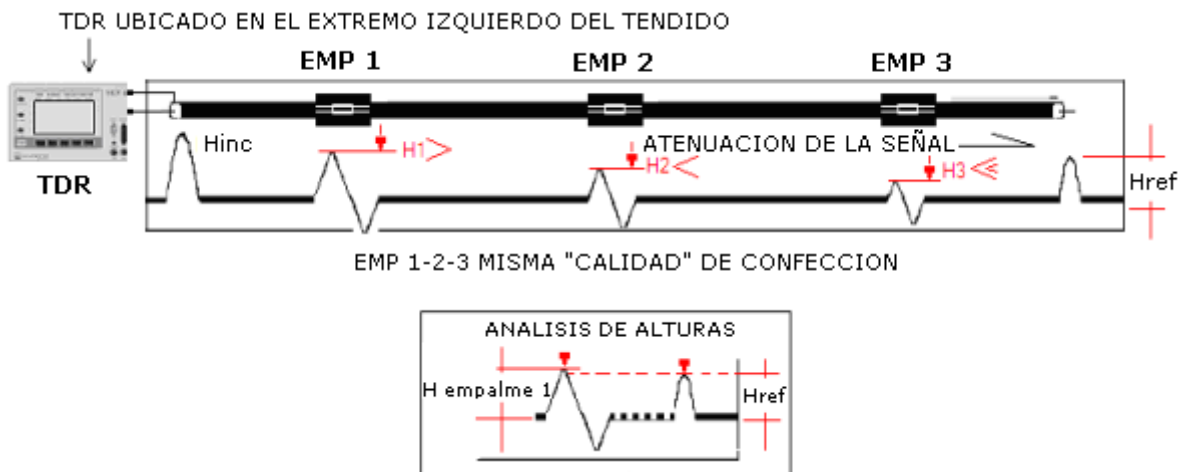
De acuerdo al extremo de medición seleccionado, (ubicación del TDR), la altura de un mismo empalme no será constante.



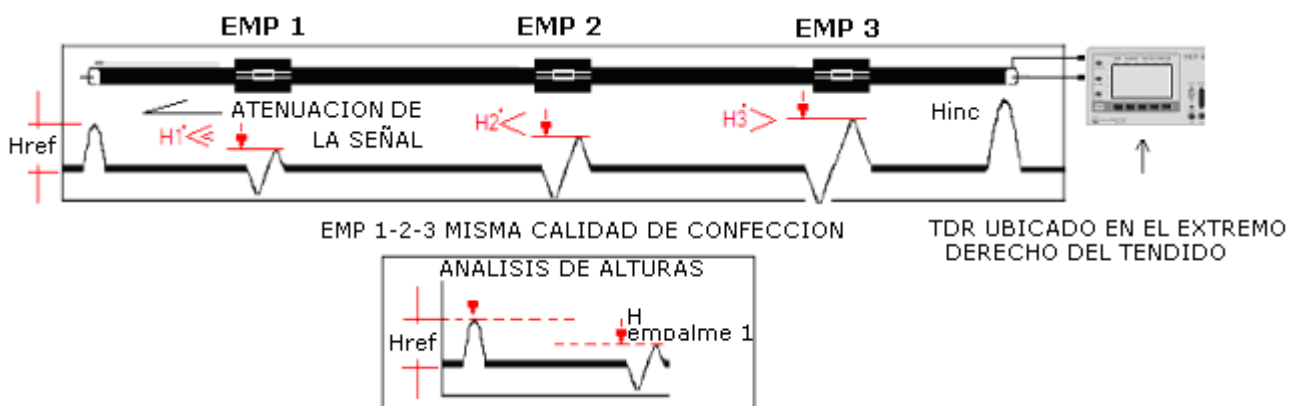


## 2.2 Imposibilidad de establecer alturas de referencias (criterio de aceptación / rechazo)

Invirtiendo la ubicación del reflectómetro, se observa que un mismo empalme presentará una grafica con alturas diferentes: (se toma como punto de referencia aleatorio, al extremo opuesto a la ubicación del reflectómetro).



Invirtiendo ahora el punto de medición, para el mismo análisis del empalme N°1, pero ubicando ahora el TDR a la derecha del tendido, se obtendrán conclusiones totalmente opuestas al caso anterior.



MIENTRAS  $H_{ref}$  PERMANECE CONSTANTE, LAS ALTURAS DE LAS REFLEXIONES PRODUCIDAS POR UN MISMO EMPALME, DIFIEREN SEGUN EL EXTREMO DE MEDICION QUE SE ADOpte COMO INICIO, Y ADEMAS, SEGUN LA UBICACION DE DICHO EMPALME A LO LARGO DEL CABLE

Seria por lo tanto inviable, establecer una regla de proporcionalidad entre ambos, para determinar un criterio de aceptación y/o rechazo. Se ha demostrado que los dos parámetros de “referencia”: altura de cada gráfica de empalme, y altura de la gráfica del final del cable, no son constantes, y no mantienen una proporcionalidad en función al factor atenuación, factores como la ubicación física, cantidad, y longitud del cable.

En la condiciones reales del sistema cable/empalmes/ terminales, se pueden apreciar las atenuaciones en la señales de los empalmes (alturas no constantes), a medida que su ubicación física se aleja del punto de medición.

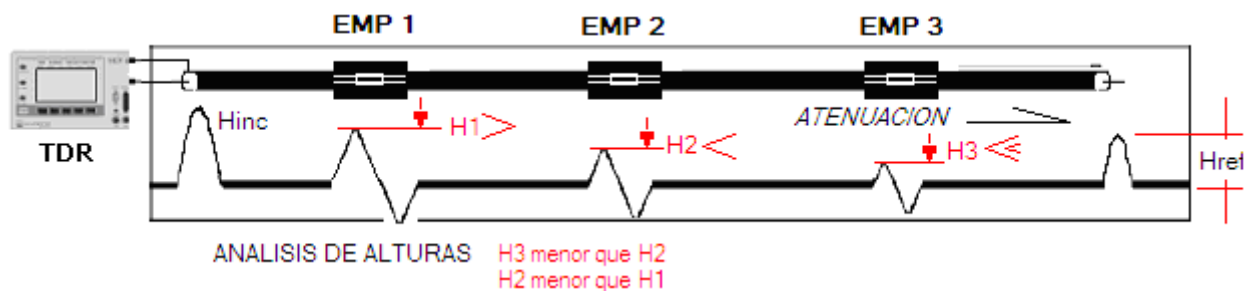
Debido a la atenuación, las reflexiones causadas por cada uno de los empalmes, igualmente espaciados, serán progresivamente más pequeñas, impidiendo su comparación por alturas.

### 2.3 Una regla práctica:

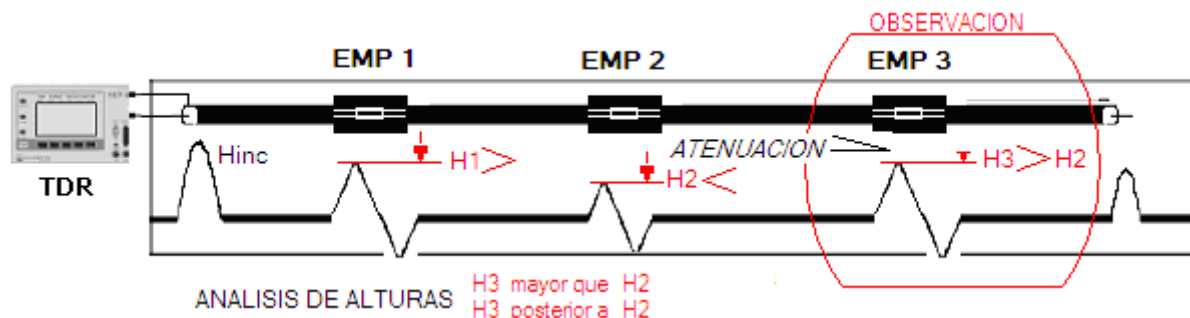
Una de las pocas reglas prácticas para inferir una anomalía, o poner una objeción sobre la confección y/o estado de un determinado empalme; ubicado en un tendido que posea a la vez múltiples empalmes, es la de observar que ningún empalme posterior (mas cercano al extremo opuesto de medición), posea una altura de gráfica mayor a sus inmediatos anteriores (mas cercano al extremo donde se ubica el reflectómetro).

Por ejemplo:

A medida que se alejan del extremo de medición, todas las alturas de los empalmes son proporcionalmente descendentes. No se puede establecer objeciones.



A diferencia del anterior, en este último caso, el empalme H3, posee una altura de grafica mayor que su antecesor (empalme H2). Se puede por lo tanto establecer una objeción de calidad de confección/estado sobre el empalme H3, que deberá ser confirmada con otras mediciones, y suponiendo que no trata de empalmes de transición / cambios de secciones, u otros aspectos que se diferencien en gran medida de los anteriores.



### **3 CONCLUSIONES**

Se dice que la Reflectometría Convencional, permite “ver” en el interior de un cable, y a lo largo de todo su recorrido.

Nuestro punto de vista está basado en que una determinada magnitud eléctrica, leída en un instrumento de lectura directa, ya sea con escala digital o analógica, generalmente será la misma para todo aquel que intente leerla. En cambio, en una lectura “reflectométrica”, aparece ahora el termino “interpretación”, es decir que el especialista no tendrá ante sus ojos un valor numérico absoluto, si no que deberá interpretar una grafica (gráfica reflectométrica), la cual seguramente contendrá todas las respuesta a sus preguntas, pero deberá “interpretar” según su raciocinio, que es lo que le está indicando la misma.

Uno o todos los empalmes que forman parte de un tendido subterráneo, pueden ser analizados en cuanto a su calidad de confección / estado actual, por medio de la aplicación de las técnicas de reflectometría convencional, pero para la interpretación eficiente de sus resultados, es necesario manejar cuidadosamente los conceptos de: atenuación, ubicación, cantidad total de empalmes existentes en el tendido, y la existencia o no de otros empalmes ubicados en forma previa al analizado.

Mientras más largo es el cable a ensayar, y mayor cantidad de empalmes o cambios de impedancias posea; mayor será la atenuación que sufrirá la señal de reflectometría en el dominio del tiempo, a lo largo del cable que recorre. Para un mismo empalme (idéntico), la altura de la gráfica de su señal (cambio de impedancia), no será nunca una constante, y dependerá entre otros factores, de su ubicación física dentro del recorrido del cable analizado.

### **4 REFERENCIAS:**

IEEE Std400-2001 ENSAYOS EN CAMPO Y EVALUACION DE LA AISLACION DE CABLES DE POTENCIA

IEEE Std400.2-2004 ENSAYOS EN CAMPO DE CABLES DE POTENCIA APANTALLADOS USANDO VLF.

IEEE Std 1234-2007 FAULT LOCATING TECHNIQUES ON SHIELDED POWER CABLES SYSTEMS

Database interna Inducor Ingenieria S.A.

Todas las fotos publicadas pertenecen al Dto. Servicios de Inducor Ingenieria S.A.