

## EMPALMES EN CABLES SUTERRANEOS REFLECTOMETRIA CONVENCIONAL Y CAMBIOS DE IMPEDANCIAS

### INTRODUCCION:

Más allá de la calidad de confección de un empalme que formará parte de un cable de energía, 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 ubicado en forma previa al analizado (ubicados entre el reflectómetro y el empalme en cuestión).

Entre otros aspectos, la gráfica reflectométrica de un empalme, dependerá de:

- 1º- LOS PRINCIPIOS DE ATENUACION Y PERDIDAS DE POTENCIA QUE SUFRE UNA SEÑAL DE ALTA FRECUENCIA AL RECORRER UN CABLE DE ENERGIA –
- 2º- EL FACTOR LONGITUD DEL CONDUCTOR –
- 3º- EL FACTOR DE UBICACION O POSICION FISICA ALEATORIA DE UN EMPALME.

### ATENUACION DE LA SEÑAL DE REFLECTOMETRIA A LO LARGO DEL CABLE ANALIZADO:

La atenuación se define como la pérdida de potencia eléctrica que sufre una señal incidente y reflejada, a lo largo del cable ensayado.

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.

La pérdida de potencia eléctrica de una señal a lo largo de un cable está dada por:

$$A = \frac{27463}{Z_0} \left\{ \frac{\sqrt{rd}}{d} + \frac{\sqrt{rD}}{D} \right\} \sqrt{f} + 9.094 \cdot \sqrt{\epsilon_r} \cdot df \cdot f$$

- A: Atenuación en dB cada 100m.  
rd: Resistividad del conductor central en ohms/m  
rD: Resistividad del conductor extremo en ohm/m.  
d: Diámetros del conductor central en mm  
D: Diámetro del dieléctrico en mm  
Zo: Impedancia característica del cable en ohms.  
F: Frecuencia en MHZ.  
Er: Constante dieléctrica del núcleo relativa al vacío.  
df: Factor de disipación del dieléctrico.

### FACTOR DE PERDIDAS :

En toda señal que viaja por un cable, parte de su energía (expresada en dB), es perdida debido a la resistencia propia del cable.

Si la energía de la señal transmitida alcanza una discontinuidad de impedancia, parte de la energía es reflejada, y la relación de la energía reflejada a la transmitida, es conocida como pérdida de retorno.

### PERDIDAS DE RETORNO:

Si la impedancia de carga no es igual a la impedancia característica del cable (nunca lo es en la práctica), se producirán reflexiones múltiples. Parte de la energía que llega a la carga, será absorbida por ésta, y parte será reflejada hacia el elemento transmisor.

Cualquier irregularidad en la impedancia a lo largo del cable, hará las veces de carga desadaptada y provocará una nueva reflexión.

Se define como pérdida de retorno a la relación en dB entre la onda reflejada y la incidente.

Las pérdidas de retorno, son una forma de medir (cuantificar) los cambios de impedancias en el cable, Grandes pérdidas de retorno significan que gran cantidad de la señal se está reflejando en el punto de ocurrencia del cambio de impedancia.

$$RL(dB) = -20 \log(\Gamma) = -20 \log\left(\frac{V_{ref}}{V_{inc}}\right)$$

- RL(dB): Pérdidas de retorno.
- r: Coeficiente de reflexión.
- Vref: Tensión de la señal reflejada.
- Vinc: Tensión de la señal incidente.

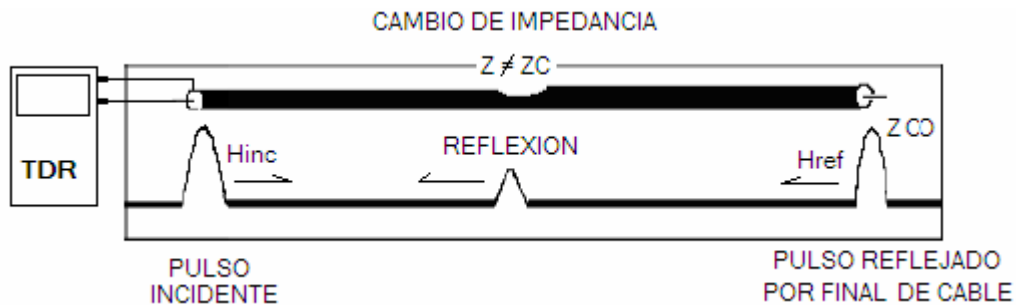
**CONCEPTO REFERIDO AL TDR:** Un reflectómetro TDR, (emisor de señales pulsantes, de una tensión aproximada de 6 a 24 Vpp, y una frecuencia del orden de los khz), es un dispositivo específicamente diseñado para medir tiempos, los cuales serán traducidos a unidades de longitud en función de la velocidad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

**CONCEPTO DE IMPEDANCIA:**

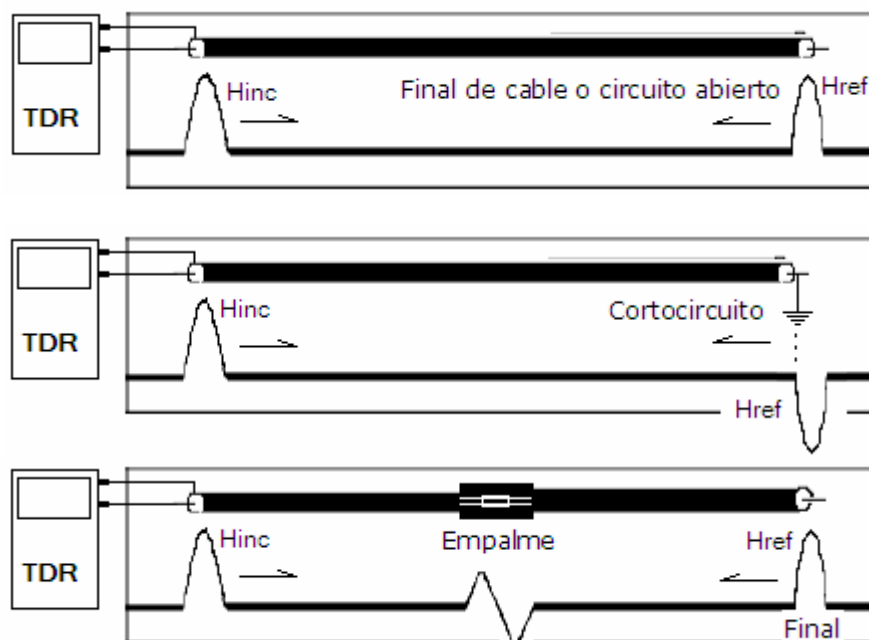
Un TDR identifica y posiciona temporalmente mediante una reflexión de su señal incidente, todo cambio de impedancia en un cable. Estos cambios de impedancias pueden ser atribuidos a una gran variedad de circunstancias, entre ellas daños en el cable, ingreso de humedad, cambios en tipo de cable, instalación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

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:



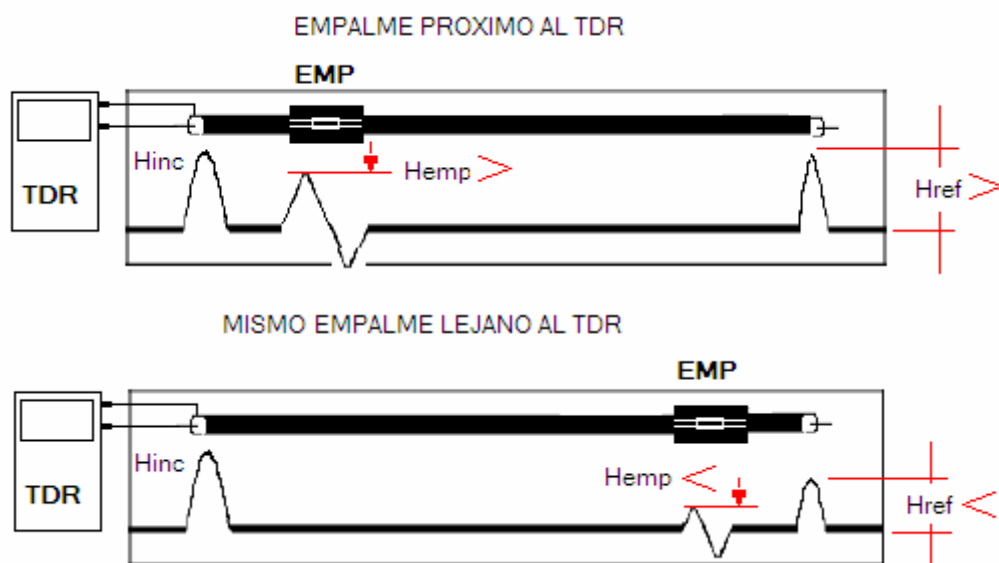
## EMPALMES Y SUS GRAFICAS REFLECTOMETRICAS: variaciones

Las graficas producidas por los empalmes (cambios de impedancias), y su 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 analizadas.

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.



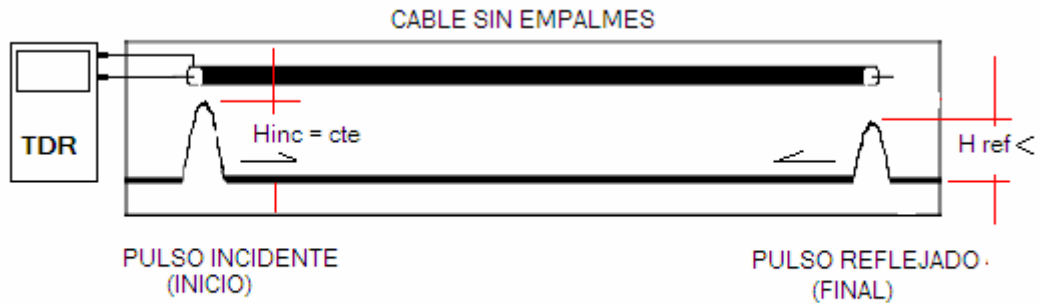
PARA UNA MISMA "CALIDAD" DE EMPALME, PERO UBICADOS A DISTINTAS DISTANCIAS CON RESPECTO AL PUNTO DE MEDICION, TANTO LAS ALTURAS DE LA REFLEXION PRODUCIDA POR EL EMPALME, COMO LA DEL EXTREMO OPUESTO, SON DISTINTAS PRODUCTO DE LA ATENUACION

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".

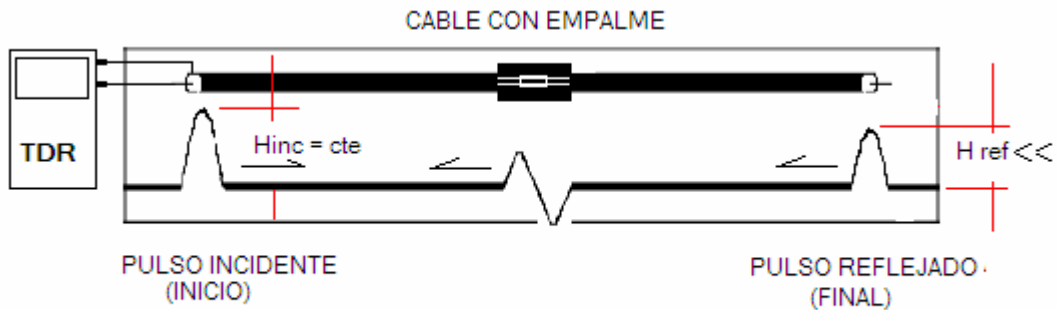
Muy por el contrario, y basado en la teoría de transmisión/reflexión de ondas en el dominio del tiempo, ambas alturas de señales (empalmes/final de cable), dependerán en forma aleatoria, de la posición física de el, o de los empalmes a lo largo del cable.

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.

**FACTOR EXISTENCIA O NO DE EMPALMES:** ( $H_{ref}$ , dependiente de la presencia de empalmes).

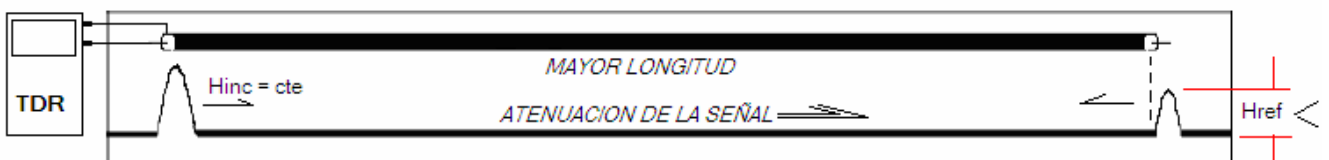
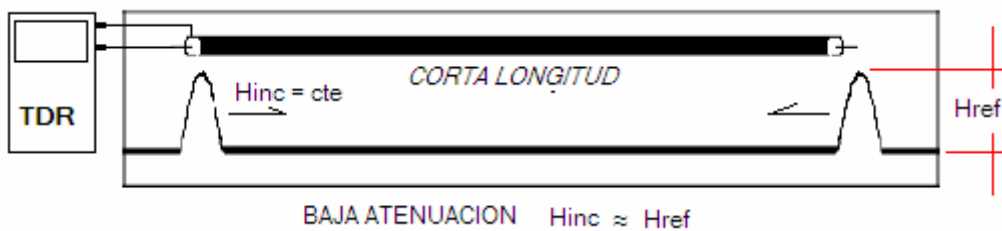


PARA UN CABLE SIN EMPALMES, LA ALTURA DEL PULSO REFLEJADO SIEMPRE ES MENOR QUE LA ALTURA DEL PULSO INCIDENTE



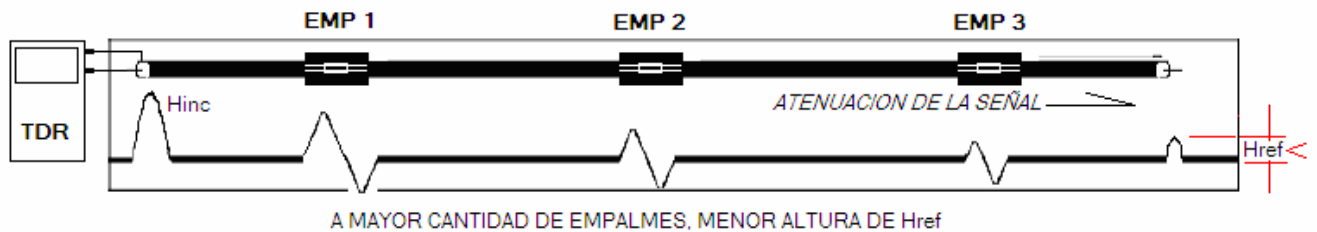
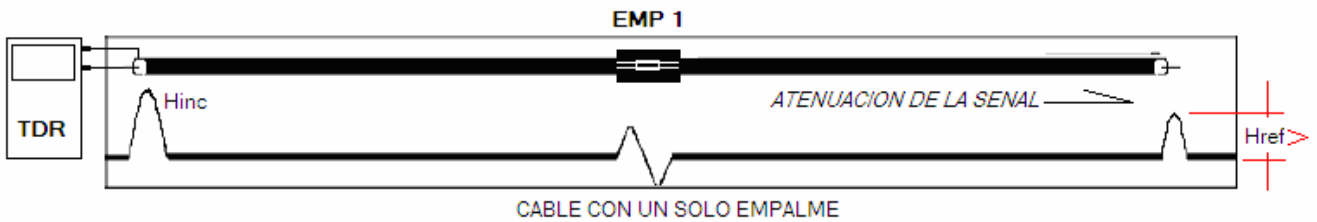
PARA UN CABLE CON EMPALMES, LA ALTURA DEL PULSO REFLEJADO ES MUCHO MENOR AUN QUE LA ALTURA DEL PULSO INCIDENTE

**FACTOR LONGITUD DEL CABLE:** ( $H_{ref}$ , dependiente de la longitud del cable)



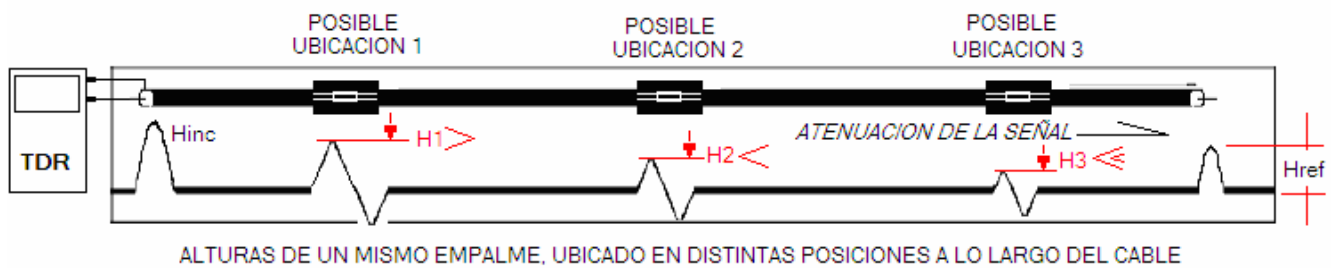
PRODUCTO DE LA ATENUACION, A MAYOR LONGITUD DE UN CABLE, MENOR ALTURA DEL PULSO REFLEJADO AL FINAL

**FACTOR CANTIDAD DE EMPALMES:** ( $H_{ref}$ , dependiente de la cantidad de empalmes en el cable)



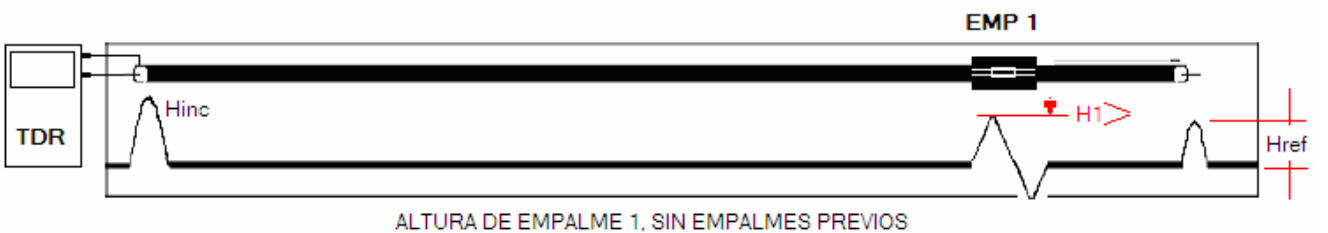
**FACTOR UBICACION FISICA DEL EMPALME ANALIZADO:** (Tanto  $H_{ref}$  como  $H_{emp}$ , son dependientes de la ubicación física del empalme a lo largo del cable).

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



**FACTOR CANTIDAD DE EMPALMES PREVIOS:** ( $H_{emp}$ , es dependiente de la cantidad / ubicación física de cada uno de los otros empalme en el cable).

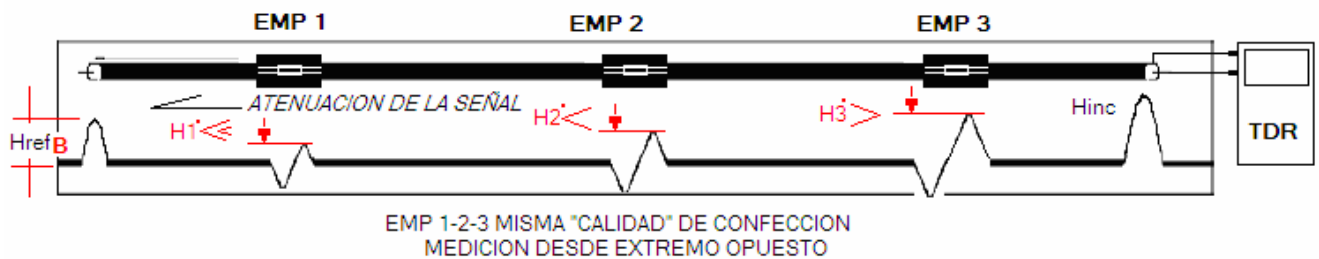
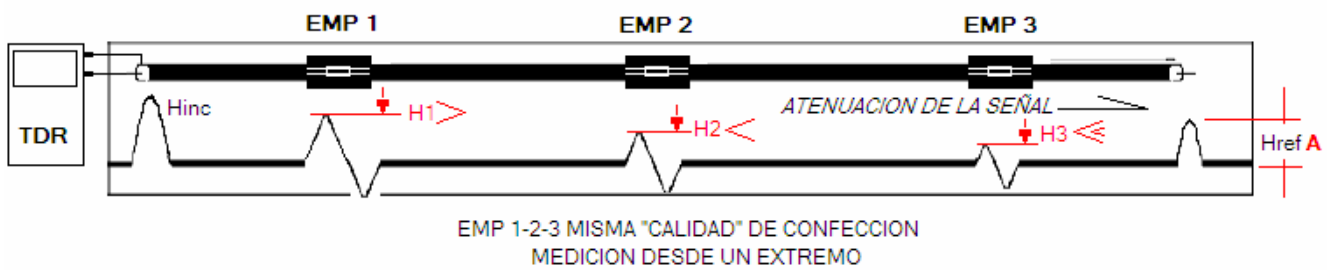
Dependiendo de las cantidades, y ubicación física entre el TDR y el empalme analizado, la altura de su grafica variará.



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

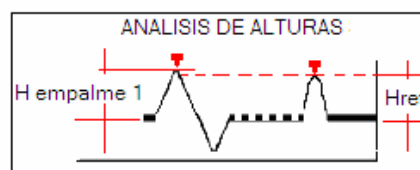
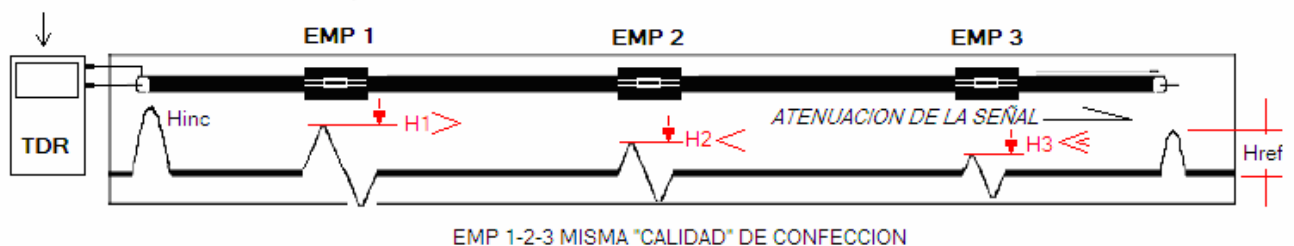
**FACTOR UBICACION DEL TDR:** (extremo de medición seleccionado)

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

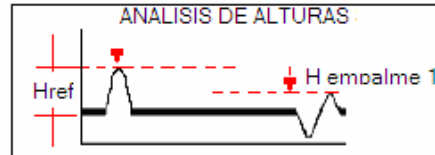
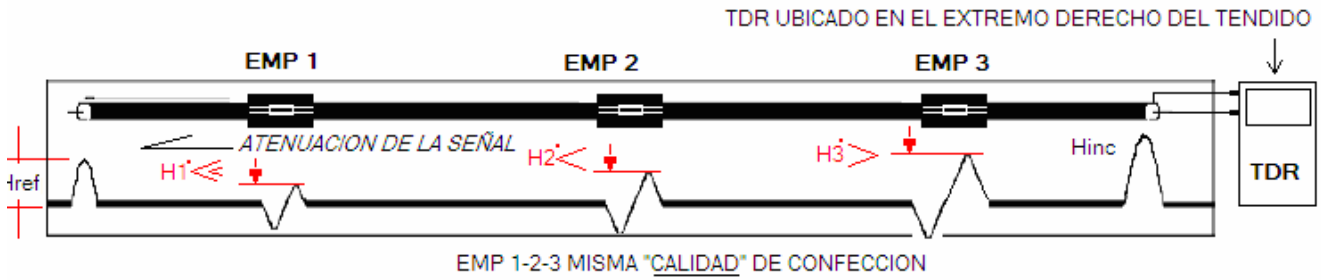


**IMPOSIBILIDAD DE ESTABLECER ALTURAS DE REFERENCIA:** Inviertiendo la ubicación del reflectómetro, se observa que un mismo empalme presentará una grafica con alturas diferentes: (se toma como punto de referencia aleatorio, al extremo opuesto a la ubicación del reflectómetro).

TDR UBICADO EN EL EXTREMO IZQUIERDO DEL TENDIDO



Inviertiendo 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 ADOPTA 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.

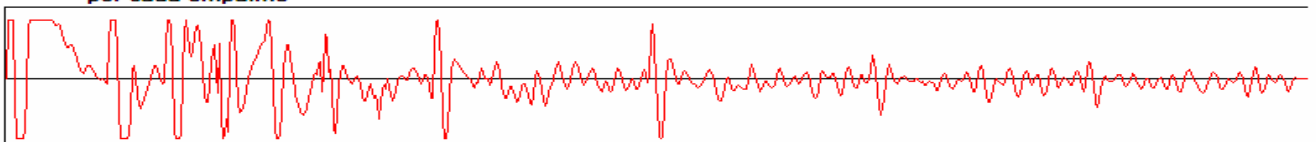
Se ha demostrado que los dos parámetros de "referencia": altura de cada gráfica de empalme, y altura de la gráfica del final del cable, no son constantes, y no mantienen una proporcionalidad en función al factor atenuación, factores como la ubicación física, cantidad, y longitud del cable.

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.

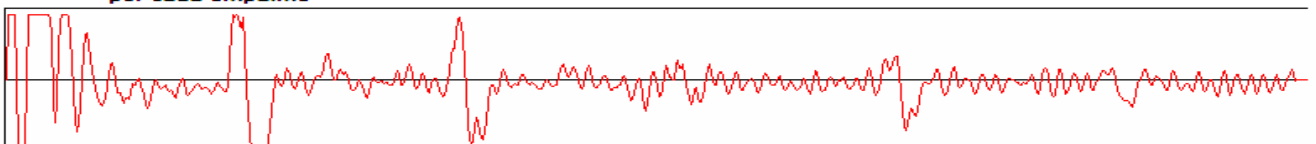
### GRAFICAS DE REFLECTOMETRIAS REALES:

atenuación de las reflexiones producidas por cada empalme



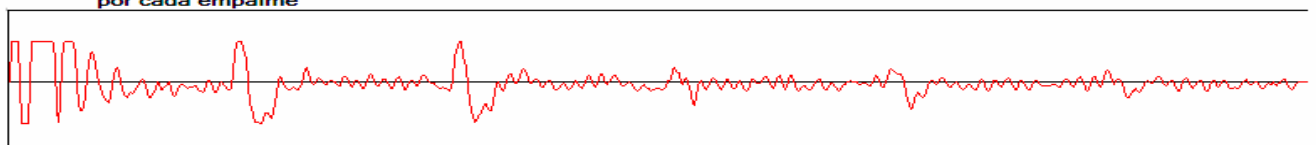
Rango: 80µS Cursor 1: 7258,3 Cursor 2: 7265,4 m C1<->C2: 7,10 m  
 EDENOR SUB ESTACION COLEGIALES

atenuación de las reflexiones producidas por cada empalme



Rango: 80µS Cursor 1: 4198,4 Cursor 2: 7265,4 m C1<->C2: 3067,00 m  
 EDENOR SUB ESTACION COLEGIALES

atenuación de las reflexiones producidas por cada empalme



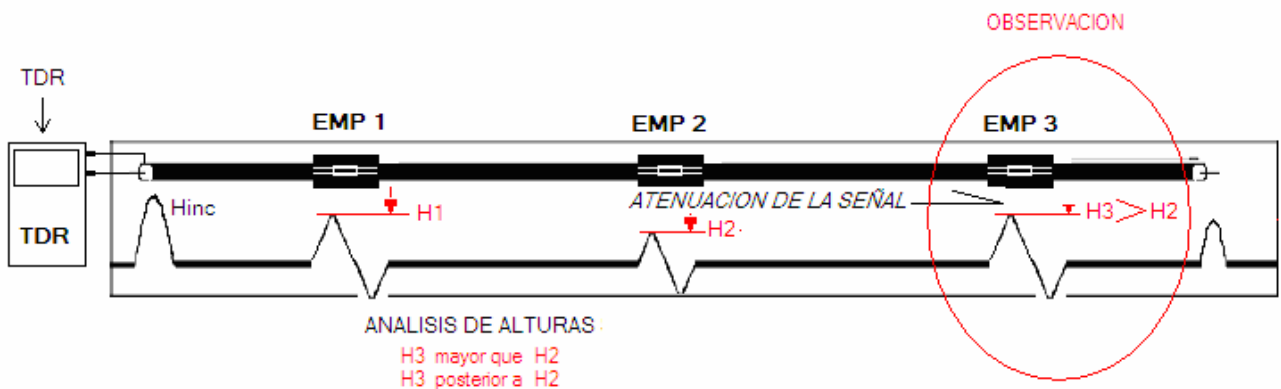
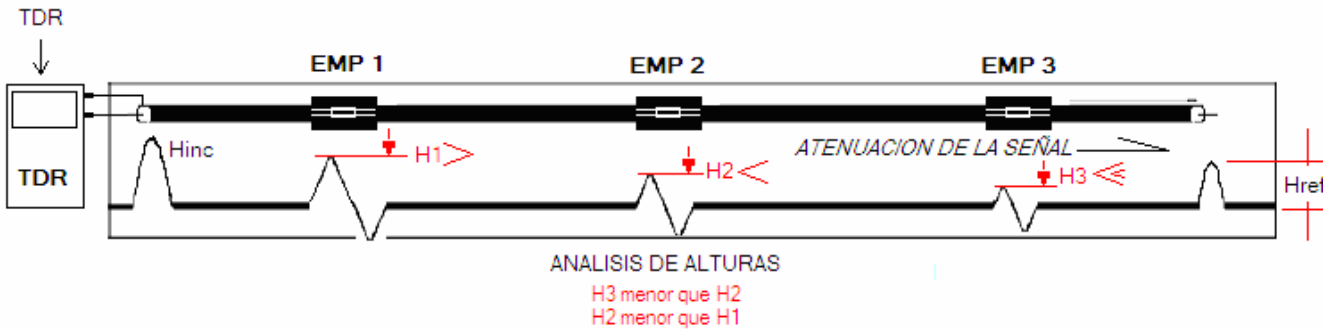
EDENOR CENTRAL PUERTO

**UNA REGLA PRACTICA:**

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.

FUENTE: **INDUCOR INGENIERIA S.A.**  
 Cable Testing Division  
 Localización de Fallas en Redes de Energía  
[www.inducor.com.ar](http://www.inducor.com.ar)