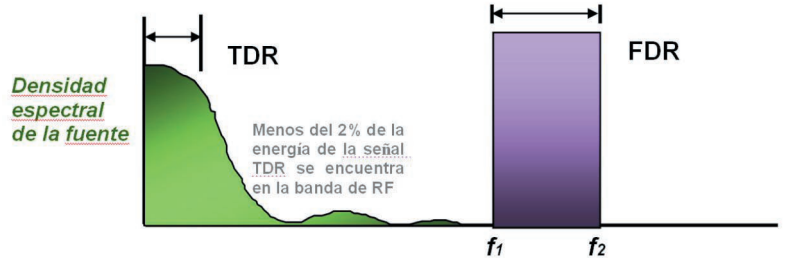


Introducción a las medidas en Sistemas Radiantes: Análisis de Cables y Antenas.

Por Stefan Pongratz

Artículo cedido por Anritsu EMEA Ltd

El sistema radiante de una Estación Base, formado por antena/s y cable/s de alimentación, desempeña un papel fundamental en su comportamiento. El deterioro o fallo del mismo, puede ser causa de la pérdida de la calidad de la voz, o cortes de llamadas, lo que desde el punto de vista de los operadores, se traduce en disminución de los beneficios.



Mientras que en una estación base un transmisor defectuoso puede cambiarse sin demasiados problemas, no ocurre lo mismo con el sistema radiante. Por esta razón es vital mantenerlo dentro de especificaciones en perfecto estado operativo. Es en este punto donde los equipos de mantenimiento juegan un papel fundamental.

La herramienta básica con la que los técnicos suelen desarrollar su trabajo es el analizador portátil de cables (Medidor de ROE) con el que analizan el comportamiento del sistema, localizan fallos, lo caracterizan y mantienen. El objetivo de este artículo es presentar los fundamentos de las medidas fundamentales que es necesario llevar a cabo:

- Pérdidas de retorno (PR)
- ROE
- Pérdidas en el cable
- Localización del Fallo (D.T.F)

Reflectometría en el Dominio del Tiempo

Los analizadores más modernos que se emplean hoy en día para caracterizar estos sistemas utilizan tecnología FDR (Frequency Domain Reflectometry).

Utilizando esta técnica se analiza el sistema radiante en su banda de trabajo pudiéndose determinar los cambios y degradaciones, grandes y/o pequeñas, del mismo lo que permite ejercer las acciones de mantenimiento preventivas necesarias antes de que los problemas detectados se conviertan en severos. Otra gran ventaja derivada de analizar el sistema radiante utilizando barridos de

RF es que la antena se prueba en su banda de trabajo exacta, circulando la señal por los dispositivos selectivos de frecuencia correspondientes como puedan ser filtros, dispositivos de protección de cuarto de onda (quarter-wave lightning arrestors) o duplexores habituales en las antenas de los sistemas celulares.

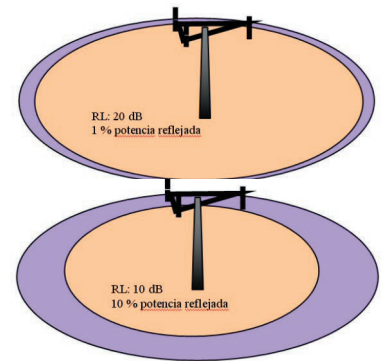
La principal ventaja de la tecnología FDR frente a la TDR (Time Domain Reflectometry) es que la energía en la banda de trabajo es mucho más grande cuando se utiliza la primera de las dos. Lo que se traduce en una sensibilidad más alta y mayores probabilidades de detectar pequeños fallos antes de que estos crezcan y originen problemas graves.

Pérdidas de Retorno / ROE (VSWR)

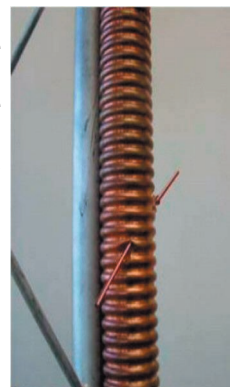
La medida clave para cualquier técnico que esté en el campo realizando labores de instalación, puesta a punto o mantenimiento de sistemas radiantes es la determinación de las PR o el ROE, ya que estas medidas indican la adaptación del sistema y si cumplen sus especificaciones de trabajo definidas por el operador. Si los resultados de dichas medidas no fuesen los adecuados existen grandes posibilidades de que el sistema no trabaje adecuadamente y, consecuentemente, la estación base asociada tenga problemas que afecten a sus abonados. Una antena mal adaptada reflejará la energía (costosa) de RF, que no estará disponible en transmisión y que, por el contrario, retornará al transmisor. Dicha energía no solamente distorsionará la señal, sino que

afectará al nivel de potencia transmitida y, por consiguiente, al área de cobertura de la estación base.

Por ejemplo, un sistema con una pérdida de retorno de 20dB se considera muy eficiente ya que solamente se refleja el 1% de la potencia, transmitiéndose el 99% restante. Por el contrario, si la pérdida fuese del 10dB tendríamos una estación poco eficiente pues se reflejaría el 10% de la señal. Aunque cada sistema tiene sus propias características puede afirmarse que una pérdida de retorno de 15dB, o mejor, es un valor aceptable para cualquier sistema.



Un sistema radiante puede fallar por un sin número de razones siendo las más típicas conectores mal montados, cables dañados, grapas apretadas en exceso y antenas defectuosas.



Tanto las PR, como el ROE del sistema, muestran la adaptación de este aunque de manera diferente. La pérdida de retorno indica la relación entre la potencia reflejada y la incidente (salida del Tx), en dB. Normalmente es la medida mas utilizada pues tiene la ventaja de utilizar una presentación logarítmica, pues permite comparar con facilidad dos medidas aunque sean dispares. Para representar el ROE se utiliza una escala lineal.

Habitualmente la escala utilizada para representar las PR esta comprendida entre 0 y 60dB, correspondiendo el 0 bien a un corto, bien a un circuito abierto, mientras que 60 correspondería a una situación de adaptación perfecta.

El ROE indica una relación entre picos y valles de tensión (máximo y mínimo). Si la adaptación no es perfecta esta relación crece y cuanto mayor sea el número resultante peor será la adaptación. Si esta fuese perfecta la señal reflejada por la antena sería idéntica a la enviada a esta y el ROE sería 1.1. Los fabricantes de antenas especifican la adaptación de este modo. La escala utilizada suele estar comprendida, por defecto, entre 1 y 65.

Para convertir ROE a PR se utiliza la expresión:

$$ROE = 1 + 10^{-RL/20} / 1 - 10^{-RL/20}$$

$$PR = 20 \log |ROE + 1/ROE - 1|$$

La traza en la figura 1 indica la PR de una antena celular ajustada en la banda 806-869 MHz. La escala utilizada está comprendida entre 0,5dB y 28dB. La figura 2 muestra el ROE de la misma antena habiéndose ajustado su escala con la de la figura1. Los dos gráficos ilustran la relación entre ROE y PR.

$$0.5 \text{ dB PR} \ll 35 \text{ ROE}$$

$$28 \text{ dB PR} \ll 1.08 \text{ ROE}$$

Pérdida en el cable

Conforme la señal va recorriendo el bucle de alimentación de la antena, parte de su energía se va disipando tanto en el cable, como en los componentes que lo conforman. Las Pérdidas en el Cable se suelen medir en la fase de instalación para verificar que el cable está dentro de las especificaciones indicadas por el fabricante.

La medida se puede realizar con analizador vectorial, o escalar, portátil o bien con un medidor de potencia de RF. Se puede determinar utilizando la función medida de PR colocando una carga corto-circuito al final del cable con lo que la señal que llegue hasta ella se reflejará en su totalidad, pudiendo medir entonces la energía total disipada. Dado que la señal recorre el cable en las dos direcciones, la pérdida será la mitad de la calculada. Los fabricantes de equipos sugieren obtener la pérdida media del cable en la banda medida sumando los picos máx y min., dividiendo luego el resultado por dos.

Muchos de los analizadores portátiles de cables y antena disponen de una función específica que permite calcular directamente la pérdida media de un cable en la banda de trabajo seleccionada. Suele ser el método preferido pues elimina la necesidad de realizar cálculos. La gráfica de la figura 3 muestra las pérdidas de un cable que trabaja entre 1850 y 1990 MHz. Los marcadores en pico (max.) y valle (min.) se utilizan para realizar le cálculo automáticamente, mostrando el resultado en la parte media-izquierda del gráfico.

Aumentando la frecuencia de barrido y la longitud del cable las pérdidas también aumentan. Los cables de gran diámetro tienen menos pérdidas de inserción y mejor rendimiento de potencia que cables con diámetro más pequeño. Las pérdidas en un cable varían dependiendo del fabricante

Interacción entre las pérdidas en el cable y las pérdidas de retorno en el sistema

Es necesario tomar en consideración las pérdidas en el cable (inserción) cuando se va a determinar las PR del sistema. La figura 4 ilustra como las primeras alteran la percepción del comportamiento de la antena. Por si misma la antena tiene una PR de 15dB, pero los 5dB del cable (p. de inserción) la incrementan en 10dB (5dB x 2). Aunque esto es algo que los diseñadores suelen tener en cuenta al definir las especificaciones que debe cumplir la estación base, es importante estar atentos a los efectos de las pérdidas de inserción y retorno

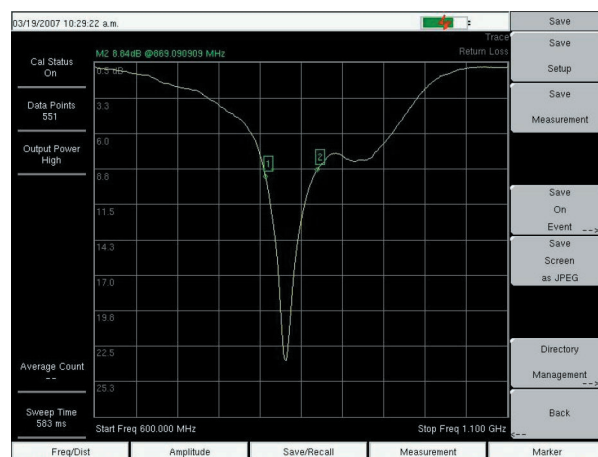


Figura 1. Pérdida de Retorno

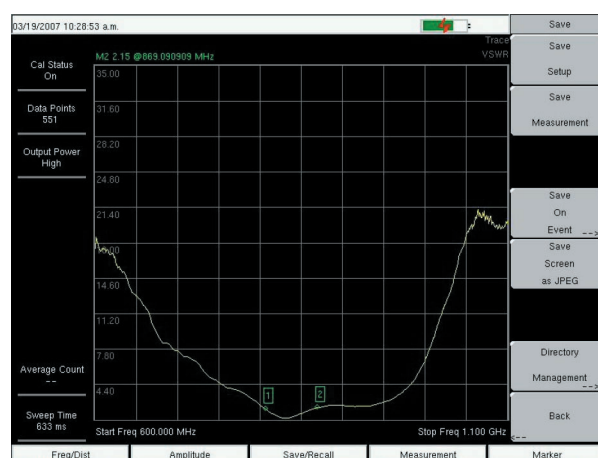


Figura 2. ROE

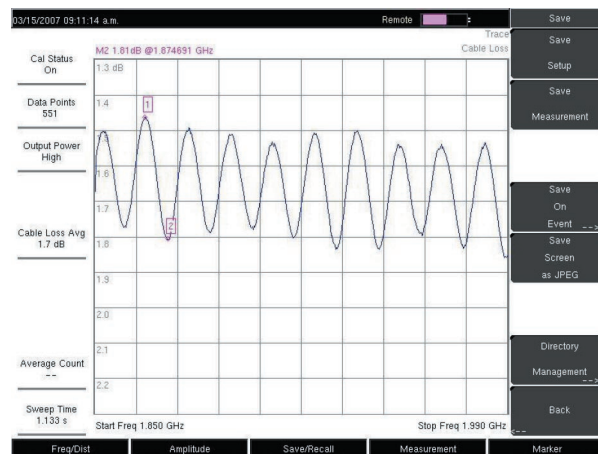


Figura 3: Medida de las pérdidas de retorno global del sistema. Un sistema bien adaptado no tiene porque ser consecuencia de disponer de una antena excelente, pues podría ser el resultado de disponer de un cable mediocre (pérdidas de inserción altas) y una antena fuera de especificaciones. En estas condiciones la señal caería en exceso, y una vez alcanzada

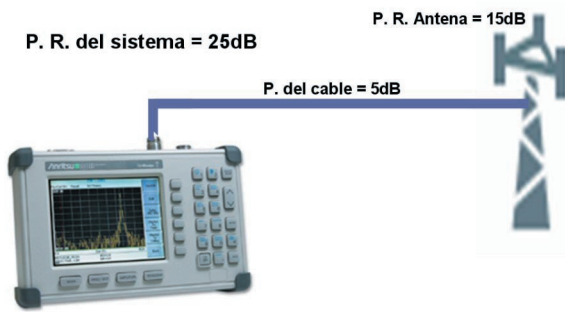


Figura 4. Pérdidas de Retorno del Sistema

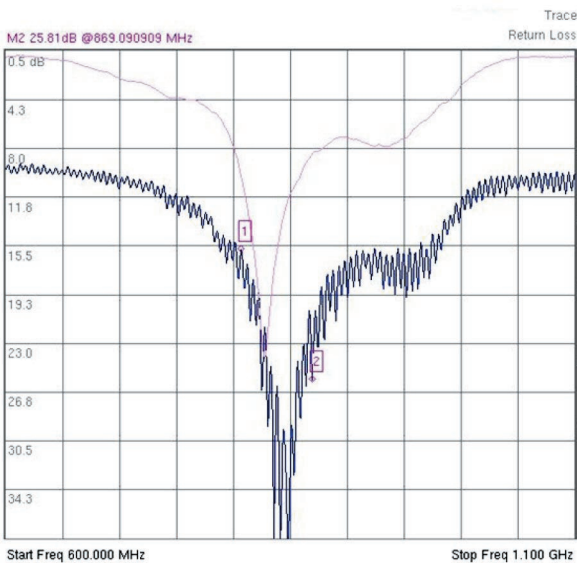


Figura 5. P. de Retorno de la Antena

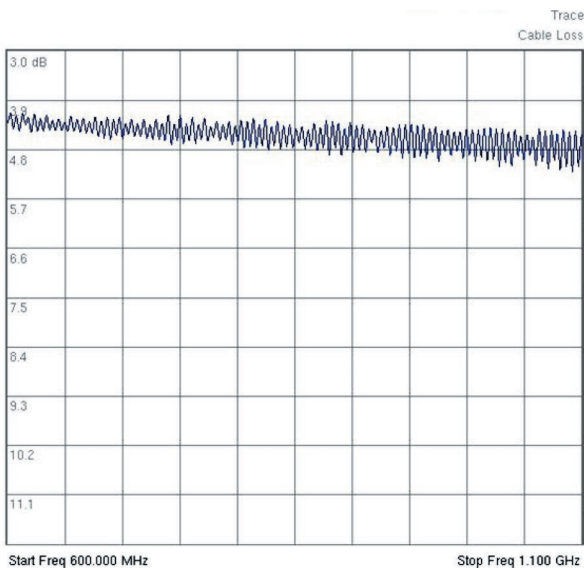


Figura 6. Pérdida del cable

la antena se reflejaría una gran parte de esta ya que la adaptación es peor de lo esperado. El resultado es que el nivel de la señal transmitida es

inferior al que necesario para dar la cobertura adecuada y, consecuentemente, el área cubierta se ve afectada negativamente. En otras palabras, si el valor de las PR es muy bueno, no siempre indica algo bueno.

La traza de la figura 6 muestra las pérdidas de dos cables de 1,20m conectados entre si. La pérdida combinada de ambos es de 4,5dB. Por otra parte la figura 5 pone de manifiesto las diferencias existentes cuando se mide la perdida de retorno de la antena aislada o de todo el sistema, incluyendo la pérdida de inserción de 4,5dB de los dos cables. La gráfica que muestra la pérdida de inserción los cables pone de manifiesto que esta aumenta con la frecuencia. El diferencial (delta) en la figura 5 entre las dos medidas es proporcional a $2 \times CL$ siendo evidente que este es mucho mayor a 1,1GHz que a 600MHz. En ambos casos son conocidas las PR tanto de la antena, como del sistema, pudiéndose estimar las pérdidas del cable a partir de esta información.

Distancia al fallo (DTF)

Para verificar el buen funcionamiento de un sistema radiante es imprescindible realizar dos tipos de medidas, a saber, la de PR / ROE o VSWR y la de pérdidas de inserción del cable. La primera permite predecir el comportamiento global del sistema, mientras que la segunda indica la caída de nivel de la señal. Si los resultados obtenidos en alguna de ellas no son los esperados podemos revisar el sistema y determinar donde se encuentra/n la/s causa/s realizando una medida DTF. Es importante no perder de vista que la medida DTF es estrictamente una herramienta de ayuda que permite comparar datos y monitorizar cambios en el dominio del tiempo, para localizar puntos donde aparezcan discontinuidades y medir la distancia a la que se encuentran, con respecto al punto desde donde se realiza la medida.

No es recomendable utilizar este tipo de medida como indicador pasa / falla o para determinar las PR ya que hay muchas variables que pueden afectarla tales como la velocidad de propagación del cable, imprecisiones en los valores de las pérdidas de inserción del sistema, señales erráticas,

cambios en la temperatura ambiente, etc. ya que, si así se hiciese, implicaría que los técnicos de campo tendrían que realizar cálculos complejos y engorrosos que retrasarían su trabajo considerable e innecesariamente. Utilizada correctamente la medida DTF es, con mucho, el mejor método para solucionar problemas en cables y antenas.

La medida DTF utiliza la misma información ya obtenida al realizar las medidas de PR / ROE o de pérdidas en el cable. Se realiza efectuando un barrido de frecuencia en el cable para posteriormente, con la ayuda de la transformada inversa rápida de Fourier (Inverse Fast Fourier Transform), convertir los datos obtenidos, en el dominio de la frecuencia, al dominio del tiempo. En otras palabras, si nos olvidamos de realizar la medida DTF, pero hemos hecho la de PR y tenemos acceso a los datos de fase y magnitud obtenidos, no tenemos por que preocuparnos ya podemos crear a posteriori, utilizando el software adecuado, la grafica DTF correspondiente.

La constante dieléctrica del cable afecta a la velocidad de propagación, que a su vez afecta a la velocidad con que una señal viaja a través del mismo. La precisión con que se determine la velocidad de propagación (v_p) condicionará la precisión con que se localice la discontinuidad. Un error del $\pm 5\%$ en la v_p afecta la precisión con que se determina la distancia, por ejemplo el final de un cable de 20m de aparecer a 18m o 21m. Aunque, en el mejor de los casos, dispusiéramos del catálogo del fabricante del cable para tomar el valor exacto de v_p , seguirían existiendo discrepancias sobre la ubicación exacta de la discontinuidad. La mayor contribución a dicho efecto se debe principalmente al cable principal de alimentación de antena, y luego, en menor escala, a los otros componentes del sistema radiante tales como puentes de alimentación (feed line jumpers), adaptadores, filtros, dispositivos de protección, duplexores, etc.

La precisión en amplitud de las medidas DTF tiene menos importancia, ya que estas se llevan a cabo para la localización y resolución de problemas. El echo de saber si la atenuación en un conector es 30dB o 35dB no es tan importante como conocer su

tendencia, es decir, si hace un año su valor era 35dB y ahora es 30dB. No hay que perder de vista que mientras la velocidad de propagación se mantiene aceptablemente constante en todo el rango de frecuencia, las pérdidas de inserción en el cable no, lo que afecta a la precisión en amplitud.

Muchos de los equipos portátiles existentes en el mercado disponen de tablas que incluyen valores de velocidad de propagación y pérdidas de inserción, a diferentes frecuencias, de los cables más utilizados. Esto simplifica enormemente el trabajo de los técnicos de campo ya que, basta con introducir el tipo de cable que se está utilizando para, automáticamente, disponer de los valores correctos de v_p y atenuación. La tabla siguiente ilustra lo dicho anteriormente:

Cable	Velocidad de propagación	1000 MHz	2500 MHz
Andrew LDF4-50A	0.88	0.073 dB/m	0.120 dB/m
Andrew HJ4.5-50	0.92	0.054 dB/m	0.089 dB/m

Resolución al fallo, Resolución en pantalla y Distancia máxima.

El término resolución puede resultar confuso ya que puede, según los casos, no denotar lo mismo. Para medidas DTF, por ejemplo, es importante entender la diferencia existente entre resolución al fallo y resolución en pantalla, ya que tienen significados diferentes.

La resolución al fallo indica la capacidad para separar dos señales muy próximas.

Dos discontinuidades situadas a 15cm una de otra podrían no ser identificadas, al realizar una medida DTF, si la resolución seleccionada es de 60cm. Puesto que las medidas DTF se realizan en el dominio de la frecuencia, su margen afectará la resolución al fallo. Un margen grande implica mejor resolución al fallo, pero un rango en distancia más pequeño. Por el contrario un margen de frecuencia pequeño implica una menor capacidad de discriminación entre fallos, pero una mayor capacidad de medida en distancia. Por consiguiente la única forma de aumentar la resolución al fallo es aumentar el rango de

frecuencia.

Veamos que ocurre cuando queremos identificar dos fallos (-20dB, separados 2 pies (60cm) que ocurren a 9 y 11 pies (2,74 y 3,35 cm). En la figura 7 los fallos no se pueden visualizar, ya que el rango de frecuencia seleccionado está comprendido entre 1.850 y 1.990MHz, $\Delta F = 140\text{MHz}$. Sin embargo esto no ocurre en la figura 8 ya que, en este caso se ha aumentado estando ahora comprendido entre 1.500 y 1990MHz, $\Delta F = 490\text{MHz}$. En el primer supuesto la resolución al fallo es 3,16ft (1m), mientras que en el segundo es 0,9ft (0,3m). Si en la figura 7 aumentamos el número de puntos en pantalla obtendremos una traza mejor definida, pero solamente

mejoraremos su presentación, sin que con ello desenmascaremos los fallos. Es irrelevante el número de puntos disponibles en pantalla, los dos fallos permanecerá ocultos hasta que aumentemos el rango de frecuencia de la medida. Fijándose con atención puede observarse que las discontinuidades en la figura 8 tienen un nivel de -20dB, mientras que en la figura 7 las dos amplitudes se suman creando un fallo de mayor amplitud.

Ejemplo de localización de fallos DTF

Resolución al fallo (m)
 $(m) = 150 \times v_p / \Delta F \text{ (MHz)}$
 Resolución al fallo (ft)
 $(ft) = 15000 \times v_p / (\Delta F \times 30.48)$

Tomando como ejemplo la figura 9 tendremos:
 $(m) = 150 \times 0.88 / (1100 - 600) = 0.264\text{m}$
 $(ft) = 15000 \times 0.88 / ((1100 - 600) \times 30.48) = 0.866\text{ft}$

D_{max} es la distancia máxima horizontal que un equipo puede medir. Depende el número de puntos en pantalla y de la resolución al fallo. Considerando la longitud media de los cables utilizados hoy

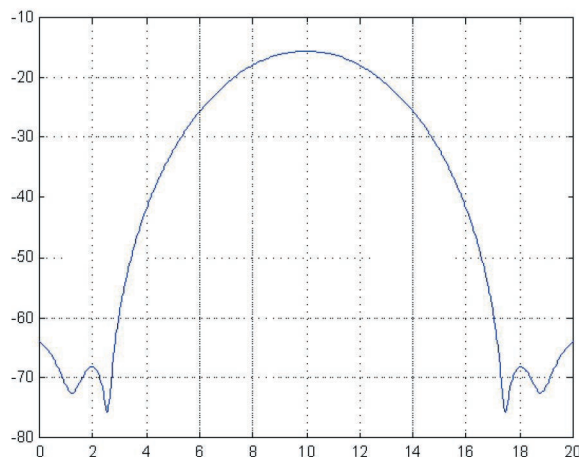


Figura 7. DTF barrido 1850-1990 MHz

Figura 8. DTF barrido 1500-1990 MHz

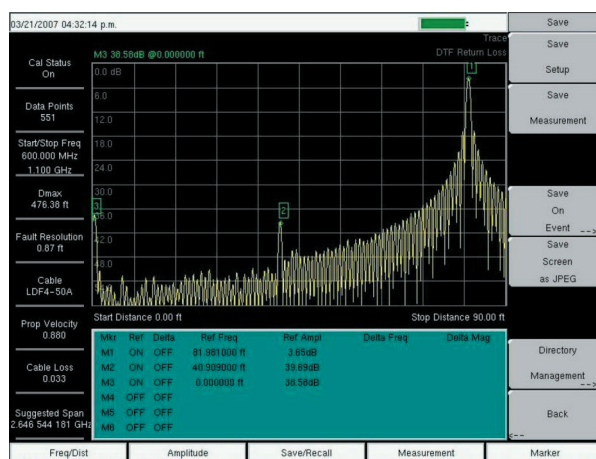
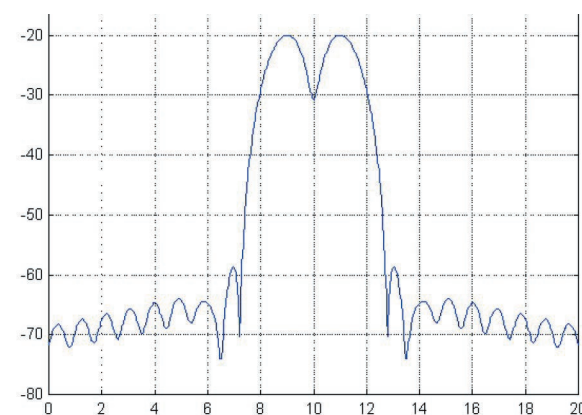


Figura 9. Medida DTF

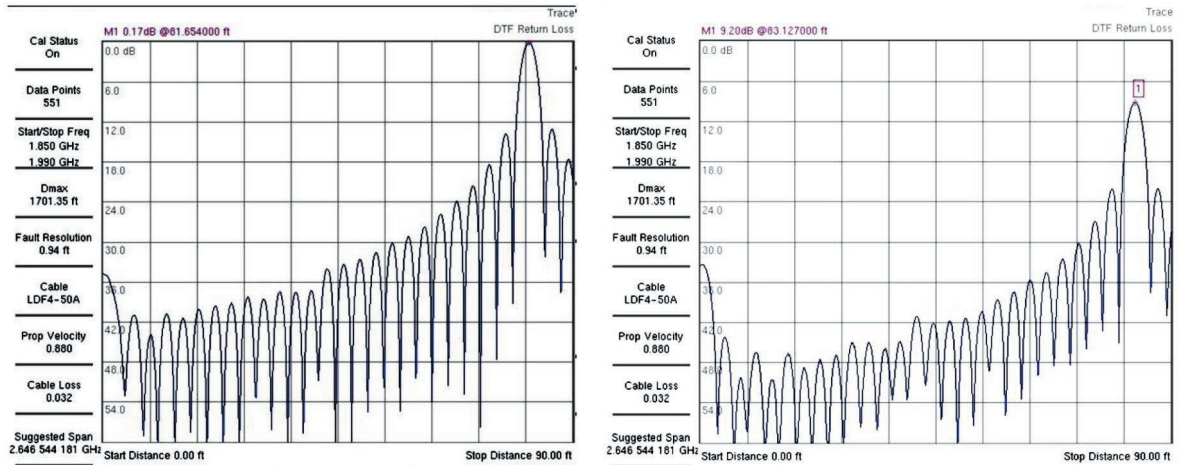
en día en los sistemas de comunicación, una resolución en pantalla de 250 puntos es más que suficiente.

$D_{max} = (N^\circ \text{ de puntos} - 1) \times \text{Resolución al fallo}$

Por lo tanto, siguiendo con la figura 9, la D_{max} será:

$(m) = (551 - 1) \times 0.264\text{m} = 145,2\text{m}$
 $(ft) = (551 - 1) \times 0.866\text{ft} = 476,4\text{ft}$

Figura 10 (Izquierda).
DTF con c. abierto
Figura 11 (derecha).
DTF con antena PCS



Interpretación de medidas DTF

En un mundo ideal los sistemas estarían formados por el cable de alimentación y su terminación, pero en realidad cuentan con componentes selectivos en frecuencia, tanto a lo largo del cable como en su terminación, y los técnicos deben saber como manejar esta

situación a la hora de realizar las medidas DTF.

Las figuras 10 y 11 muestran medidas DTF efectuadas con la misma configuración. Dos cables de 40 ft (12 m), modelo LDF4-50A, están conectados entre sí y tienen instalada bien una carga circuito abierto en su extremo, figura 10, bien una antena, figura 11. La única diferencia entre las dos trazas es la amplitud del pico que indica el final del cable.

Conclusión

- El cable y antena de una estación base juegan un papel importante en el comportamiento global de esta.

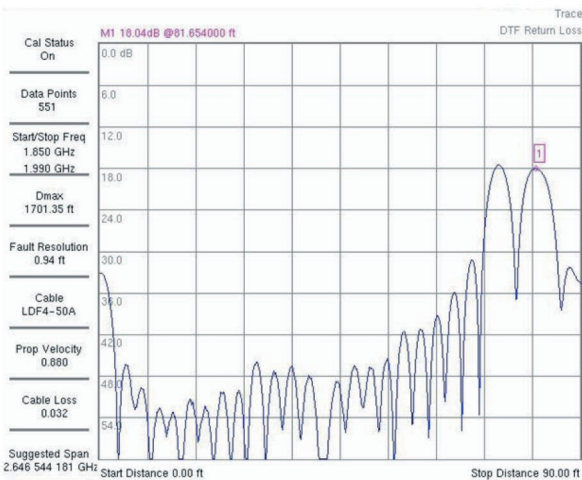
- Pequeños cambios en el sistema radiante pueden afectar a la señal, área de cobertura y, en algunos casos, originar interrupciones de las llamadas.

- La utilización de analizadores portátiles de cable y antena para caracterizar estaciones base de telefonía celular, o sistemas radiantes en general, simplifica grandemente su mantenimiento y garantiza el buen funcionamiento de los mismos.

- La medida de la pérdida de retorno, o bien el ROE, permite caracterizar el sistema.

- Si la adaptación estuviese fuera de especificaciones la medida DTF nos puede ayudar a localizar donde se encuentran los fallos.

Figura 12. DTF, línea con un fallo terminada con Antena PCS



la figura 12 muestra un golpe justo a 7 ft (2,1 m) antes de la antena

La figura 14 muestra como la inclusión de un amplificador montado en la torre influye en la distancia a medir.

En la figura 11 podemos ver que el fin de la línea está a 83 ft (25,2m) mientras que con el TMA intercalado este se desplaza hasta los 106 ft (32,3) puesto que la medida se realizó efectuando el barrido tanto en la banda de subida como en la de bajada de dicho TMA.

Figura 13 (izquierda).
Medida con dos puertos de un TMA
Figura 14 (derecha).
DTF con un TMA en el circuito

