



Tecnología de rango a la falla

White Paper

Por Tom Bell y John Nankivell

Índice

1. Introducción	1
2. Equipos de prueba/proceso de prueba de	2
3. Nuevo análisis de RTF/limitaciones	3
4. Diagrama de flujo de prueba de PIM que	5
5. Datos de un sitio como ejemplo	6
6. Conclusión	9

1. Introducción:

La intermodulación pasiva (en inglés, PIM) ha sido reconocida como un problema en los sistemas de comunicaciones durante casi 50 años. El fenómeno se produce cuando dos o más señales encuentran un cruce no lineal y se generan frecuencias "secundarias" relacionadas matemáticamente con sus señales "primarias". Con la llegada de las comunicaciones celulares, la PIM comenzó a aumentar su importancia como motivo de preocupación debido a la calidad del impacto en el servicio que pueden tener estas señales no deseadas si interfieren o bloquean los canales de enlace ascendente (recepción) de la estación base.

En 1996, Kaelus (anteriormente Summitek Instruments) introdujo la producción de equipos de prueba de PIM para permitir a los fabricantes de equipos de RF que comprueben el rendimiento de PIM de sus productos. En 2005, Kaelus presentó un equipo portátil de prueba de PIM que ofrecía a los operadores de la red la capacidad de realizar pruebas de PIM en el campo. Estas pruebas de campo han demostrado ser eficaces para identificar componentes dañados durante el transporte, así como problemas de mano de obra de instalación en la infraestructura de RF. Como resultado, las pruebas de PIM de campo han sido adoptadas cada vez más por los operadores de sistemas inalámbricos de todo el mundo como una prueba fundamental para certificar el rendimiento óptimo del sistema.

Las pruebas de PIM son diferentes de las pruebas tradicionales de VSWR en el sentido que se debe aplicar el estímulo mecánico (intervención o flexión) durante la prueba para garantizar que la prueba tenga sentido. Si la PIM hace picos por encima de un valor umbral durante la prueba dinámica, el componente o la conexión suelta deben ser reparados o reemplazados. En la mayoría de los casos es relativamente sencillo determinar la ubicación de la falla de PIM; la falla se encuentra donde usted esté interviniendo.



Ocasionalmente se producirán fallas de PIM que no producen grandes picos de magnitud cuando se prueba dinámicamente. Se torna más difícil determinar la ubicación de estas fuentes de PIM "que no responden" o "estáticas" y a menudo puede llevar mucho tiempo. Para tratar este problema Kaelus ha desarrollado la tecnología de **rango a la falla (en inglés, RTF)** similar a la utilizada en las pruebas de VSWR para ayudar a identificar la ubicación de estas fuentes de PIM estática. Este documento analiza la capacidad y las limitaciones de esta nueva tecnología así como un método de prueba recomendado para la implementación del análisis de RTF en el campo.

2. Equipos de prueba/proceso de prueba de PIM existentes:

El equipo de prueba de intermodulación pasiva transmite dos señales de prueba de 20W (+43dBm) en la línea o el dispositivo que se está probando. Si las señales de prueba encuentran un cruce no lineal, se produce una mezcla que hace que se generen las frecuencias de PIM. El equipo de prueba de PIM mide la magnitud de la PIM generada por las señales de prueba y muestra esta información al operador de la prueba.

El producto de 3^{er} orden (IM3) se utiliza para caracterizar el rendimiento de la PIM tanto en la fábrica como en el campo. La señal de IM3 generada por un cruce no lineal es generalmente de mayor magnitud que otros productos de PIM que permiten una mayor precisión de la medición. Los productos de orden superior (IM5, IM7, IM9, etc.) normalmente disminuyen en magnitud en 5 a 10dB para cada producto de PIM sucesiva. Si se controla la IM3 del sistema a un nivel especificado, los productos de orden superior (que son más propensos a caer dentro de la banda de Rx propia de los operadores) se mantendrán muy por debajo del nivel especificado de IM3.

Las frecuencias específicas de prueba usadas para excitar los defectos de la PIM en el área celular no serán críticas, siempre y cuando se cumplan los siguientes criterios:

- Todos los componentes de RF en la ruta (cables, antenas, TMA, etc.) deben poder pasar tanto las dos frecuencias de prueba como la frecuencia de IM3 que se está midiendo.
- Las dos frecuencias de prueba *deben* estar dentro del espectro con licencia del operador o ser frecuencias de banda de resguardo entre bloques del espectro con licencia para evitar interferencias con otros operadores. Esto se aplica a todas las pruebas de nivel del sistema donde las frecuencias de prueba serán transmitidas a través de la antena.
- Las dos frecuencias de prueba deben ser seleccionadas para que produzcan IM3 dentro de la banda de recepción para ese sistema. Generalmente esto requerirá tonos de prueba con espaciamiento de frecuencia más amplia que puede lograrse dentro del bloque de frecuencias con licencia para un mercado determinado. Por esta razón, se deberá seleccionar por lo menos una frecuencia de banda de resguardo.

Durante la prueba de PIM todos los componentes y las conexiones de RF en la línea deben ser sometidos a condiciones de prueba dinámica. Si un componente o conexión de RF genera niveles inaceptables de PIM al someterse a estrés mecánico ligera, deberá ser reparado. Pasar (o aprobar) una prueba dinámica de

PIM asegura que la infraestructura de RF sea robusta y que funcionará correctamente cuando esté expuesta a estrés ambiental normal causado por el viento y las temperaturas extremas.

Al probar un área celular es recomendable llevar a cabo una prueba preliminar de PIM estática para evaluar la condición inicial del sistema. Si el sistema pasa la prueba estática, el operador procederá directamente con la prueba dinámica. Si el sistema falla la prueba estática el operador debe desconectar el sistema de alimentación de la antena e instalar una carga baja de PIM al final de la línea. Este método permite al personal que realiza la prueba aislar el sistema de alimentación para resolver problemas de PIM independientemente de la antena y los objetos irradiados por la antena. Una vez que la línea de alimentación pasa la prueba dinámica, puede reconectarse a la antena para comprobar el funcionamiento del sistema.

En algunos sitios, especialmente las instalaciones en azoteas, la fuente de la PIM puede estar situada más lejos de la antena. Dado que generalmente no es responsabilidad del personal de instalación resolver las fuentes externas de PIM, los operadores generalmente aceptarán los tres datos siguientes como evidencia de que el sitio fue construido según las especificaciones, incluso cuando se produzca un error en la prueba de PIM del sistema:

- 1) Pasar la prueba de línea de alimentación dinámica (en carga baja de PIM)
- 2) Pasar la prueba de antena (antena apuntado al cielo)
- 3) No pasar la prueba del sistema cuando se ponen juntos pasar la prueba de antena y pasar la prueba de línea.

3. Nuevo análisis de RTF/limitaciones técnicas:

La tecnología de rango a la falla (RTF) de Kaelus es una herramienta de análisis desarrollada para mejorar, no para reemplazar, las pruebas estándar de tono fijo de PIM. La solución de RTF incluye el hardware adicional y software necesario para transformar la información de frecuencia en trazados de dominio temporal utilizando algoritmos inversos de la transformada rápida de Fourier (FFT) y de mejoramiento digital. La tecnología de RTF es similar a la función familiar de distancia a la falla (en inglés, DTF) ampliamente utilizada en áreas celulares para identificar las ubicaciones de las fallas de VSWR.

El RTF funciona mediante la transmisión de dos frecuencias de prueba de 20W (+43 dBm) en el sistema que se está probando. Una frecuencia de prueba es fija mientras que la segunda frecuencia es barrida en un rango de frecuencias para producir productos de IM en la banda de recepción del sistema que se está probando. Dado que el análisis de RTF requiere señales de alta potencia para ser barridas fuera del espectro con licencia de operador, ***esta prueba debe realizarse sólo en sistemas que terminen en una carga baja de PIM*** para evitar interferencias.

El algoritmo inverso de FFT se utiliza para reconstruir los pulsos del rango del dominio temporal sumando digitalmente los componentes cuantizados de fase y de amplitud de cada frecuencia afectada en el cómputo. Cuanto más ancho de banda haya disponible para el análisis, más agudos serán los bordes del pulso matemático

que ofrecen una resolución mejorada de fuentes de PIM espaciados más estrechamente.

Si la resolución se define como la distancia entre dos pulsos de igual amplitud, separados por uno nulo de 6dB, la resolución en metros que puede lograrse mediante este análisis se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta d = 150 v_f / BW$$

Donde: Δd = resolución en metros
 v_f = factor de velocidad (% de la velocidad de la luz)
 BW = ancho de banda de barrido de PIM en MHz

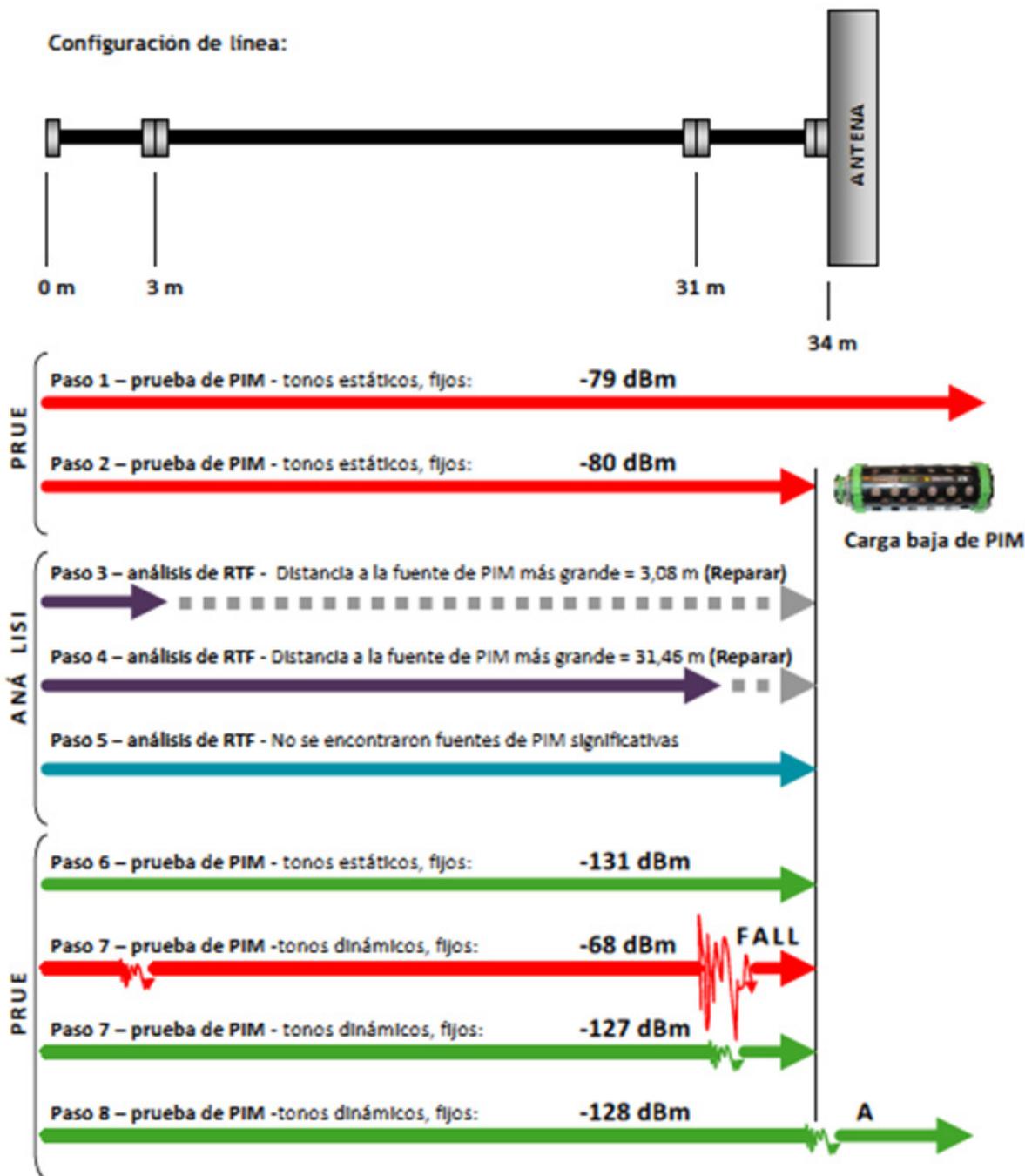
Al usar el espectro PCS como ejemplo ($T_x = 1930\text{--}1990\text{MHz}$ y $R_x = 1850\text{--}1910\text{MHz}$) el rango de barrido máximo de IM3 que puede alcanzarse en la banda R_x de PCS utilizando dos tonos T_x de PCS es de 40MHz. Esto se logra manteniendo una frecuencia de prueba fija en 1930MHz y barriendo la otra frecuencia de prueba entre 1950 y 1990MHz. Esta combinación de frecuencias generará productos de IM3 desde 1870 hasta 1910MHz en la banda R_x de PCS. Al usar estos 40 MHz de ancho de banda de IM3 barrida y un factor de velocidad de cable de 0,88, la resolución máxima alcanzable utilizando sólo el espectro de PCS es de 3,3 m. Kaelus ha empleado técnicas de procesamiento de serial patentadas para mejorar aún más la resolución, pero la precisión absoluta del algoritmo de predicción sufrirá cuando múltiples fuentes de PIM se encuentren dentro de la distancia de resolución mínima en la línea.

La manera más eficaz de utilizar el análisis de RTF es eliminar sistemáticamente la fuente de PIM de mayor magnitud identificada en la línea. Repetir el análisis y continuar con la eliminación de la mayor fuente de PIM que se encuentre hasta que se haya quitado toda fuente significativa de PIM estática. Independientemente de su ubicación en la línea, el algoritmo podrá predecir la distancia a la fuente mayor de PIM con más precisión. Cada vez que se repare una fuente de PIM la precisión para localizar la siguiente fuente mayor de PIM mejorará.

Como se mencionó inicialmente, el análisis de RTF no es un sustituto de las pruebas de PIM dinámica. El análisis de RTF mejorará las pruebas del sitio y potencialmente acelerará la eliminación de fuentes de PIM estática en el área celular. No obstante, el análisis por sí solo no debe utilizarse para certificar la calidad de la construcción dado que:

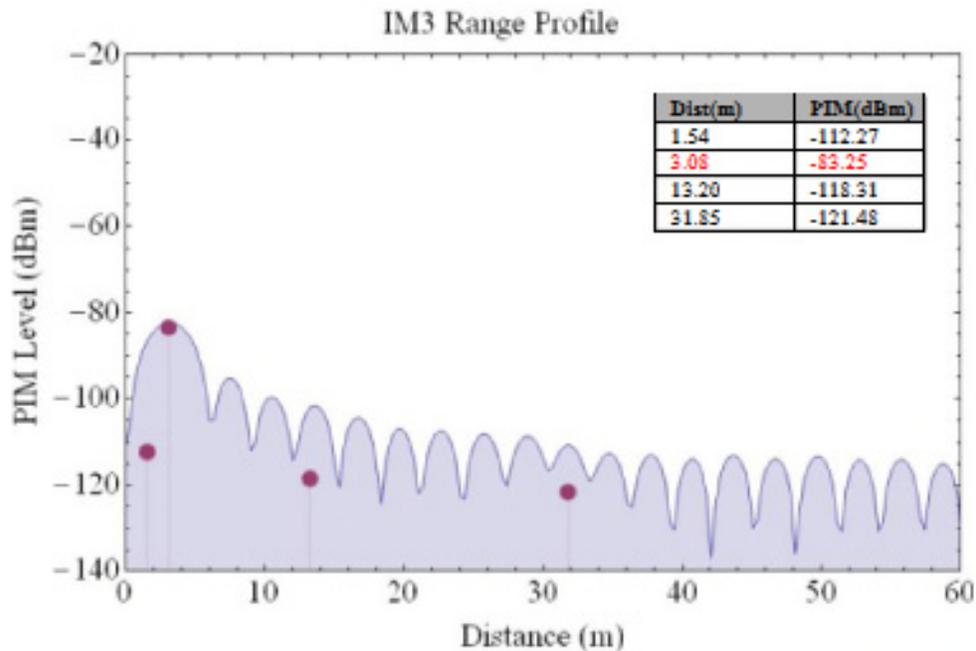
- Conocer el rango a una falla constituye un punto de partida útil pero no asegura que no haya otras fuentes de PIM ocultas dentro del sistema de alimentación de RF.
- El valor absoluto de la magnitud de la PIM del RTF no puede ser exacto debido a la distorsión provocada por la demora del grupo sensible de frecuencia en dispositivos de RF tales como los acumuladores de sobrecarga, filtros, TMA, etc.
- Las fuentes de PIM "fantasma" pueden crearse como un producto de las matemáticas y/o por desajustes de impedancia del sistema que reflejan la PIM generada en diferentes ubicaciones en la línea.

El ejemplo siguiente muestra los resultados de la prueba real de una línea de alimentación con múltiples problemas de PIM estática. Los resultados no solo muestran las ventajas de la tecnología de RFT, sino que también confirman la importancia de las pruebas de PIM dinámica en un área celular.

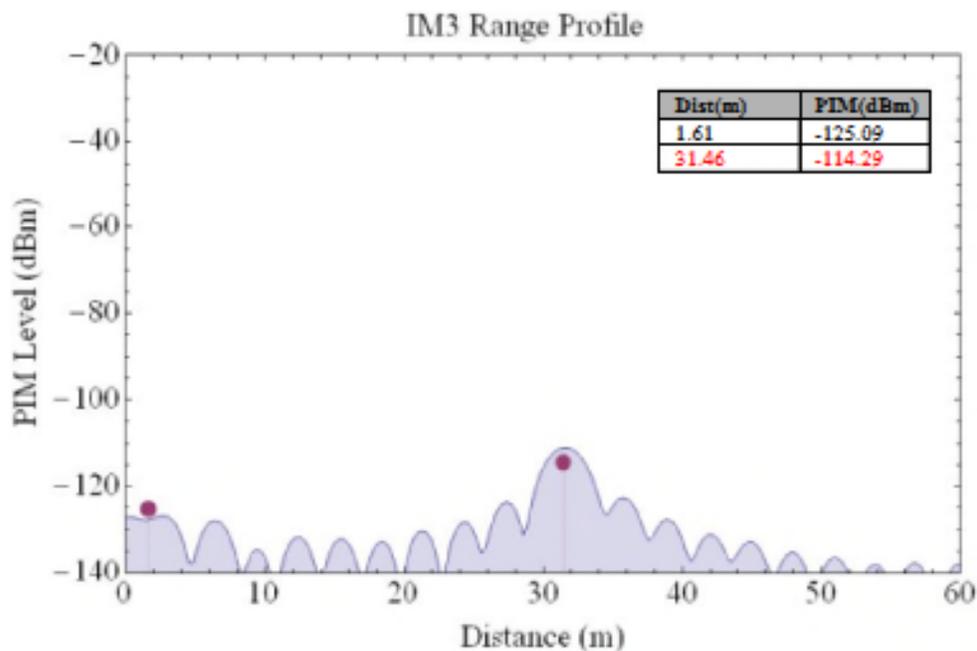


Informes seleccionados / capturas de pantalla:

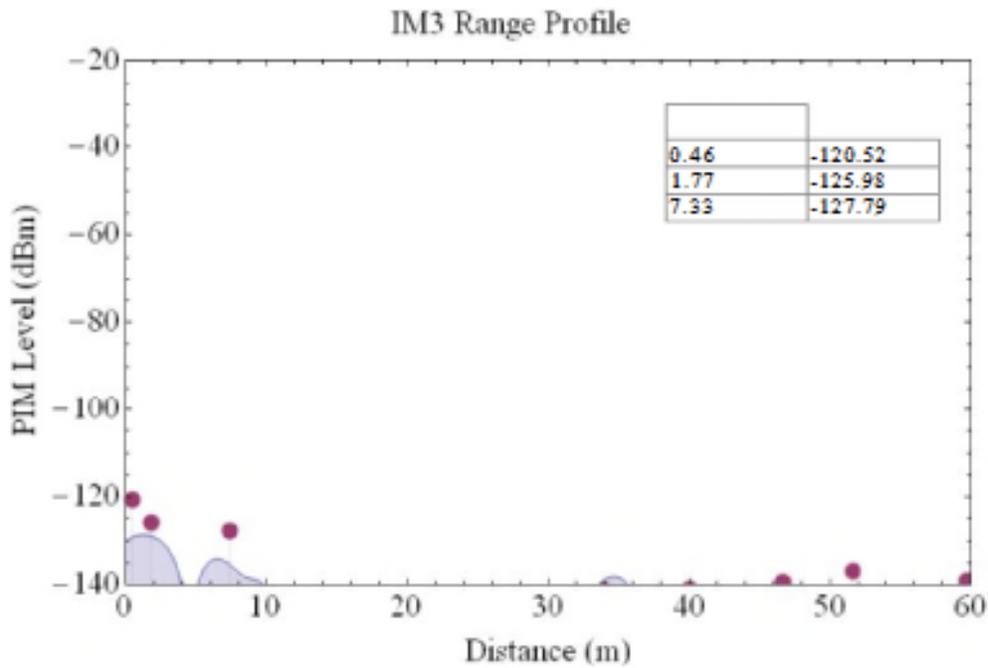
Paso 3 – 1er análisis de RTF:



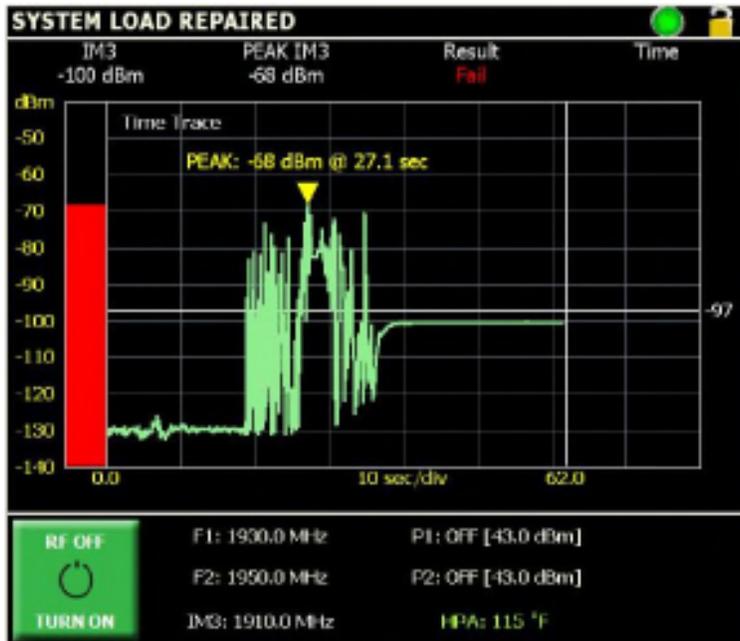
Paso 4 – 2do análisis de RTF (después de reparar la fuente de PIM a 3 m)



Paso 5 – análisis final de RTF (después de reparar las fuentes de PIM a 3 m y 31 m)



Paso 7 – resultados de la prueba de PIM dinámica (que muestra que no se encontró el problema de la PIM en la prueba de PIM estática o el análisis de RTF)



6. Conclusión:

Como se mostró en el ejemplo anterior, el análisis de RTF puede predecir con precisión la ubicación de múltiples fuentes de PIM estática dentro de la infraestructura de RF. Con esta información y siguiendo el procedimiento de prueba indicado, el personal de prueba de PIM debería poder reparar los sitios más rápidamente y reducir la variabilidad del tiempo de reparación de un sitio a otro.

Como también se demostró en el ejemplo anterior, el análisis de RTF no sustituye la necesidad de realizar pruebas de PIM dinámica en el sistema de alimentación de RF. El análisis de RTF podrá predecir con exactitud la ubicación de fuentes de PIM estática que pueda ver pero no identificará las fuentes de PIM que sean excitadas sólo por el estrés mecánico.

Y finalmente, el análisis de RTF es una prueba de frecuencias barridas y debe realizarse sólo en sistemas que terminen en una carga baja de PIM. Las pruebas en una carga evitarán la emisión de frecuencias de prueba de alta potencia fuera del espectro con licencia del operador y eliminarán la posibilidad de interferencia.



Americas
+1.303.768.8080
