

Redes Estructuradas UTP Categoría 6ª Y 7, Tipos de Apantallamientos

Utp Structured Networks Category 6 And 7, Types of Sentings

*Miguel Ángel Hernández Ramírez*¹

*Tatiana Becerra*²

*Rosa Elena Santana Osorio*³

RESUMEN

El presente artículo muestra un análisis circunstancial para demostrar que las ventajas de inmunidad a la diáfonía exógena y al ruido proporcionadas por los diseños de cableado F/UTP y S/FTP ofrecen casi el doble de capacidad de Shannon, y esta ventaja de desempeño ha llamado la atención de los desarrolladores de aplicaciones y de los especificadores de sistemas.

De igual manera cabe aclarar que este artículo se desarrolló a partir de una revisión documental de 27 apartados que se encontraron en los diferentes repositorios universitarios el cual permitieron al autor determinar los aspectos más relevantes de las redes estructuradas UTP categoría 6ª y 7 y los tipos de apantallamientos.

PALABRAS CLAVES: Apantallamiento, Aplicaciones, Estructuras, Redes, Sistemas.

ABSTRACT

This paper shows a circumstantial analysis to demonstrate that the advantages of exogenous crosstalk and noise immunity provided by the F / UTP and S / FTP cabling designs provide almost twice the capacity of Shannon, and this performance advantage has called The attention of application developers and system specifiers.

Likewise, it should be clarified that this article was developed from a documentary review of 27 sections that were found in the different university repositories which allowed the author to determine the most relevant aspects of the structured networks UTP category 6 and 7 and the types of Shielding.

KEY WORDS: Shielding, Applications, Structures, Networks, Systems.

¹ Tecnología en Administración de Redes.

² Tecnología en Administración de Redes.

³³ Licenciatura en Lengua Castellana y Comunicación. Esp Practica Pedagógica Universitaria. Docente de Cátedra.

Redes Estructuras UTP Categoría 6ª Y 7, Tipos de Apantallamientos

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Inmunidad al Ruido, Conexión a Tierra y el Mito de la Antena

Hace ya bastante tiempo que el cableado de par trenzado de cobre apantallado y blindado está entre nosotros. Algunas variedades de cableado apantallado y blindado, estándar mundial en la década de 1980, continúan siendo el soporte principal en algunos mercados; mientras que muchas otras cambiaron mayormente a cables no blindados (UTP). Recientemente, sin embargo, la ratificación del estándar 10GBASE-T para Ethernet de 10 Gb/s con cableado de cobre ha restablecido la viabilidad comercial de los sistemas apantallados y blindados, al mismo tiempo que impulsó una mayor adopción de estos sistemas en mercados previamente centrados en UTP. En este panorama competitivo son muchos los mensajes confusos y a menudo contradictorios que lo gran abrirse paso hasta el mercado, desafiando tanto a los expertos en cableado como a los usuarios finales.

1.2 Introducción e Historia del Blindaje

En la década de 1980 surgió el cableado de red de área local (LAN) para dar soporte a las primeras redes de computadoras que comenzaban a aparecer en el espacio de los edificios comerciales. Generalmente estas primeras redes tenían como soporte la transmisión Token Ring de IBM, estandarizada en 1985 como IEEE 802.5. El cableado para la red Token Ring consistía en un cable Tipo 1 de IBM acoplado a conectores hermafroditas exclusivos. El cable Tipo 1 de IBM se compone de 2 pares de 150 ohms holgadamente trenzados y blindados con cinta metálica, rodeados por un conductor de malla externo como se muestra en la figura 1.

Por varias razones, este medio representaba una elección óptima para el soporte de topologías LAN de primera generación. Su diseño se beneficiaba con la capa-

dad del protocolo de transmisión de par trenzado de maximizar las distancias (Token Ring cubría distancias de hasta 100 metros) y las velocidades de transmisión de datos con la utilización de transceptores económicos. Además, las cintas metálicas y el conductor de malla mejoraban el desempeño relativo a la compatibilidad electromagnética (EMC) y la diafonía hasta niveles que no podían hacerse realidad en ese momento con la capacidad de diseño y fabricación de pares trenzados de las primeras generaciones.

No nos debe sorprender entonces que algunos edificios todavía utilicen este tipo de cableado robusto como soporte. En 1990, los especialistas en LAN de la industria empezaban a reconocer que la red conmutada Ethernet ofrecía un desempeño y confiabilidad mayores que Token Ring. En forma concurrente, las capacidades de diseño y fabricación de par trenzado habían progresado hasta el punto de no necesitar más las pantallas metálicas individuales para proporcionar un aislamiento contra la diafonía interna ni los blindajes totales para proporcionar inmunidad contra las fuentes externas de ruido en las bandas de operación 10BASE-T y 100BASE-T.

Tanto la publicación de la aplicación 10BASE-T en 1990 como la primera edición de la norma de cableado genérico ANSI/EIA/TIA-568 en 1991, junto a los costos más bajos asociados al cableado de par trenzado no blindado (UTP), establecieron firmemente al cableado UTP como el medio elegido para los nuevos diseños de red LAN de ese entonces. Quince años más tarde, al tiempo que la tecnología de la aplicación Ethernet evolucionó hasta velocidades de transmisión de 10 Gb/s, se produjo un marcado resurgimiento en la especificación de sistemas de cableado de par trenzado apantallado y completamente blindado.

Esta guía trata sobre los beneficios prácticos de las pantallas y blindajes, y de cómo éstos pueden mejorar el desempeño de los diseños tradicionales de cableado

UTP destinados al soporte de la transmisión de ancho de banda elevado. También disipa algunos mitos y conceptos erróneos comunes respecto al comportamiento de pantallas y blindajes.

2. REDES ESTRUCTURADAS UTP TIPOS DE APANTALLAMIENTOS

2.1 Transmisión Simétrica

La ventaja de especificar un cableado simétrico de par trenzado para la transmisión de datos queda claramente demostrada al examinar los tipos de señales presentes en los entornos de los edificios. Las señales eléctricas pueden propagarse tanto en modo común como en modo diferencial (es decir “simétrico”). La expresión “modo común” describe un esquema de señal entre dos conductores en el que la tensión se propaga en fase y con referencia a tierra. Algunos ejemplos de transmisión de modo común son los circuitos de CC, la energía de edificios, TV por cable, circuitos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) y dispositivos de seguridad. También se propaga en modo común el ruido electromagnético causado por fuentes de perturbación tales como motores, transformadores, luces fluorescentes y fuentes de radiofrecuencia (RF). Prácticamente todos los tipos de señal y de perturbación presentes en el entorno de los edificios se propagan en modo común, con una notable excepción: el cableado de par trenzado está optimizado para el modo de transmisión diferencial o simétrica.

El modo de transmisión diferencial hace referencia a dos señales con magnitudes iguales pero desfasadas 180°, que se propagan a través de los dos conductores de un par trenzado. En un circuito simétrico existen dos señales referidas entre sí, en vez de una señal con referencia a tierra. Un circuito simétrico no tiene conexión a tierra, lo que da como resultado que este tipo de circuito sea intrínsecamente inmune a la interferencia proveniente de la mayoría de los perturbadores de ruido de modo común.

Teóricamente, el ruido de modo común se acopla por igual a cada conductor de un par trenzado perfectamente simétrico. Los transceptores de modo diferencial detectan la diferencia entre las magnitudes pico a pico de ambas señales de un par trenzado mediante

una operación de sustracción. En un sistema de cableado perfectamente simétrico, la señal de modo común inducida aparecería como dos tensiones iguales que el transceptor simplemente anula en el proceso de sustracción, dando como resultado, por lo tanto, una inmunidad perfecta al ruido.

En el mundo real, sin embargo, los cables de par trenzado no son perfectamente simétricos, y tanto los desarrolladores de aplicaciones como los especificadores de sistemas deben comprender sus limitaciones. Los comités de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA) y de la Organización Internacional para la Normalización (ISO/IEC), en sus normas para cableado estructurado de grados más altos (por ejemplo, Categoría 6 y superiores), toman con extremo cuidado la especificación de parámetros de simetría tales como TCL (pérdida de conversión transversal), TCTL (pérdida de transferencia de conversión transversal) y ELTCTL (pérdida de transferencia de conversión transversal de igual nivel). Al examinar los límites de desempeño para estos parámetros, y al advertir el punto a partir del cual empiezan a acercarse a la tolerancia de aislamiento de ruido requerida por diversas aplicaciones de Ethernet, se hace evidente que el ancho de banda de funcionamiento práctico definido por niveles aceptables de inmunidad al ruido de modo común debido a la simetría es aproximadamente 30 MHz. Si bien esto proporciona una inmunidad al ruido más que suficiente para aplicaciones tales como 100BASE-T y 1000BASE-T, el modelado de capacidad de Shannon demuestra que este nivel no proporciona margen de desempeño para los requisitos mínimos de inmunidad al ruido de 10GBASE-T. Afortunadamente, el uso del blindaje mejora considerablemente la inmunidad al ruido, duplica la capacidad de Shannon disponible y aumenta sustancialmente los anchos de banda de funcionamiento práctico para aplicaciones futuras.

Un efecto producido por la degradación de la simetría de señal en un par trenzado por encima de 30 MHz es la conversión modal, que sucede cuando las señales de modo diferencial se convierten en señales de modo común y viceversa. La conversión puede influir de manera desfavorable en la inmunidad al ruido proveniente del ambiente, a la vez que puede contribuir a producir diafonía entre pares y cables simétricos, lo cual debe mini-

mizarse siempre que sea posible. El blindaje puede disminuir el potencial para la conversión modal al limitar el ruido acoplado al par trenzado desde el ambiente.

3. PRINCIPIOS DE LA INTERFERENCIA DE RUIDO

Todas las aplicaciones requieren márgenes positivos de relación señal-ruido (SNR) para transmitir dentro de los niveles asignados de la tasa de errores de bits (BER). Esto significa que la señal de datos que se está transmitiendo debe ser de mayor magnitud que todos los perturbadores de ruido combinados que se acoplan a la línea de transmisión (es decir el cableado estructurado). El ruido puede acoplarse al cableado de par trenzado en una o más de las tres maneras que se muestran en la figura 2:

1. **Ruido diferencial (Vd):** Ruido inducido por un par trenzado o cable simétrico adyacente.
2. **Ruido ambiental (Ve):** Ruido inducido por un campo electromagnético externo.
3. **Ruido del bucle de tierra (Vg):** Ruido inducido por una diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

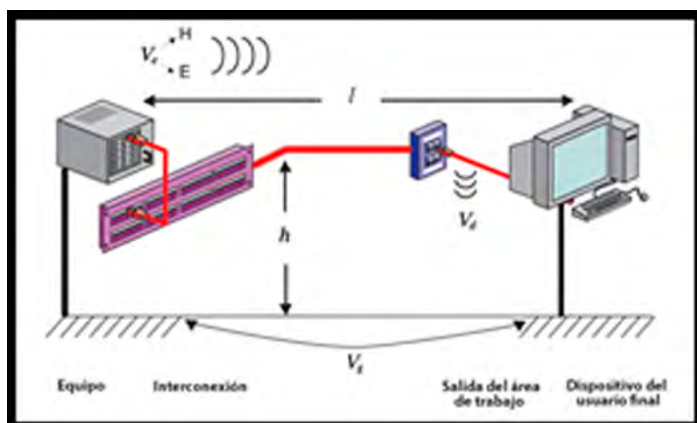


Figura 1. Fuentes de Ruido en una LAN

Las diferentes aplicaciones, dependiendo de sus capacidades, poseen distintas sensibilidades a la interferencia de estas fuentes de ruido. Por ejemplo, se reconoce comúnmente a la aplicación 10GBASE-T como extremadamente sensible a la diafonía exógena o alien crosstalk (acoplamiento de cable a cable en modo diferencial) porque su capacidad de procesamiento de señales digitales (DSP) elimina electrónicamente la diafonía interna de par a par en el interior de cada canal. A diferencia de

la diafonía de par a par, la diafonía exógena no puede anularse mediante el procesamiento de señales digitales. A la inversa, dado que la magnitud de la diafonía exógena es muy pequeña en comparación con la magnitud de la diafonía de par a par, la presencia de diafonía exógena ejerce una influencia mínima en el desempeño de otras aplicaciones como 100BASE-T y 1000BASE-T que emplean algoritmos de anulación de la diafonía en forma parcial o no lo hacen en absoluto.

El concepto de compatibilidad electromagnética (EMC) describe tanto la susceptibilidad de un sistema a la interferencia de fuentes externas (inmunidad) como al potencial de perturbar a esas fuentes (emisiones) y es un importante indicador de la capacidad del sistema para coexistir con otros dispositivos electrónicos y eléctricos. Los desempeños de inmunidad al ruido y de emisiones son recíprocos, lo que significa que la capacidad del sistema de cableado de mantener la inmunidad a la interferencia es proporcional al potencial para irradiar del sistema.

Es interesante mencionar que, al mismo tiempo que se pone tanto énfasis innecesario en consideraciones de inmunidad, es un hecho aceptado que los sistemas de cableado estructurado no irradian o interfieren con otros equipos o sistemas en el entorno de las telecomunicaciones. Perturbadores de ruido diferencial: la diafonía exógena y la diafonía interna de par a par son ejemplos de perturbadores de ruido de modo diferencial que deben minimizarse mediante un diseño correcto del sistema de cableado.

La susceptibilidad a la interferencia proveniente de fuentes de modo diferencial depende de la simetría del sistema y puede mejorarse al aislar o separar los conductores que interfieran entre sí. El cableado con simetría mejorada (es decir Categoría 6 y superiores) exhibe un mejor desempeño contra la diafonía interna y la diafonía exógena. Ya que ningún cable es perfectamente simétrico, y con el objeto de mejorar aún más el desempeño contra la diafonía, se utilizan estrategias como la utilización de material dieléctrico para separar conductores o pantalla metálica para aislarlos.

Por ejemplo, está probado que el cableado de Categoría 6A F/UTP posee un desempeño contra la diafonía exó-

gena sustancialmente superior al del cableado de Categoría 6A UTP, debido a que su construcción con una pantalla metálica externa reduce el acoplamiento de diafonía exógena prácticamente a cero. Está probado que la Categoría 7 S/FTP posee un desempeño contra las diafonías de par a par y exógena sustancialmente superior al de cualquier diseño de cableado de Categoría 6A, debido a que su construcción de par trenzado con pantallas metálicas individuales reduce el acoplamiento de diafonías de par a par y exógena prácticamente a cero. Estos niveles superiores de eliminación de la diafonía no podrían alcanzarse solamente con un adecuado desempeño simétrico.

Perturbadores de Ruido Ambiental: El ruido ambiental es un ruido electromagnético que está compuesto por campos magnéticos (H) generados por acoplamiento inductivo (expresados en A/m) y campos eléctricos (E) generados por acoplamiento capacitivo (expresados en V/m). El acoplamiento por campo magnético sucede a bajas frecuencias (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz), en las que la simetría del sistema de cableado resulta más que suficiente para asegurar la inmunidad, lo cual significa que su impacto puede ignorarse en todos los tipos de cableado simétrico. Los campos eléctricos, sin embargo, pueden producir tensiones de modo común en cables simétricos, dependiendo de su frecuencia.

La magnitud de la tensión producida puede modelarse suponiendo que el sistema de cableado es susceptible a la interferencia de la misma manera que una antena de cuadro [1]. Para facilitar el análisis, la ecuación (1) representa un modelo simplificado de antena de cuadro que resulta apropiado para evaluar la influencia de los diversos anchos de banda de las fuentes de ruido de interferencia, así como de la relación de distancias entre los pares trenzados y el plano de tierra, sobre el campo eléctrico generado. Tenga en cuenta que para calcular con exactitud la tensión de ruido acoplado real se requiere un modelo más detallado que incluya especialmente el ángulo de incidencia de los campos eléctricos.

$$V_e = 2\pi A E \quad 1$$

Dónde: λ es la longitud de onda de la fuente de ruido de interferencia

A = El área del cuadro formado por la longitud perturbada del conductor del cableado (l) suspendida a una altura promedio (h) por sobre el plano de tierra.

E = La intensidad del campo eléctrico de la fuente de interferencia.

La longitud de onda λ de la fuente de interferencia puede ser desde 500,000 m, para una señal de 60 Hz, hasta menos de 1 m para señales de RF de la banda de 100 MHz y superiores. La intensidad del campo eléctrico varía de acuerdo al perturbador, depende de la proximidad a la fuente, y normalmente se reduce a niveles nulos a una distancia de 3 m de la fuente. La ecuación demuestra que una señal de 60 Hz da como resultado una perturbación del campo eléctrico que sólo puede ser medida en el rango de milésimos de mV, mientras que las fuentes que operan en el rango de MHz puede generar una perturbación del campo eléctrico mucho mayor. Como referencia, se considera que 0.3 V/m es una aproximación razonable del campo eléctrico promedio presente en un entorno comercial o industrial "liviano" y 10 V/m es una aproximación razonable del campo eléctrico promedio presente en un entorno industrial.

La única variable que influye en la magnitud de la tensión acoplada por el campo eléctrico es el área del cuadro, A, que se calcula multiplicando la longitud perturbada del cableado (l) por la altura promedio (h) medida desde el plano de tierra. La vista en corte transversal de la figura 3 ilustra las corrientes de modo común generadas por un campo eléctrico. Son estas corrientes las que inducen señales indeseadas en los elementos conductivos externos del cableado (es decir, los propios conductores en un entorno UTP o la pantalla/blindaje total en un entorno apantallado/completamente blindado). Lo que se hace rápidamente evidente es que la impedancia de modo común, determinada por la distancia (h) al plano de tierra, no está bien controlada en los entornos UTP. Esta impedancia depende de factores como la distancia a conductos metálicos, estructuras metálicas presentes en los alrededores de los pares, uso de conductos no metálicos y ubicación de la terminación.

A la inversa, esta impedancia de modo común está bien definida y controlada en ambientes de cableado apantallados/completamente blindados, ya que tanto la pan-

talla como el blindaje actúan como un plano de tierra. Las aproximaciones promedio para (h) pueden fluctuar entre 0.1 y 1 metro para cableado UTP, pero están significativamente más limitadas (es decir a menos de 0.001 m) para cableado apantallado y completamente blindado. Esto significa que, en teoría, el cableado apantallado y completamente blindado ofrece una inmunidad contra perturbaciones del campo eléctrico entre 100 y 1,000 veces mayor que la del cableado UTP.

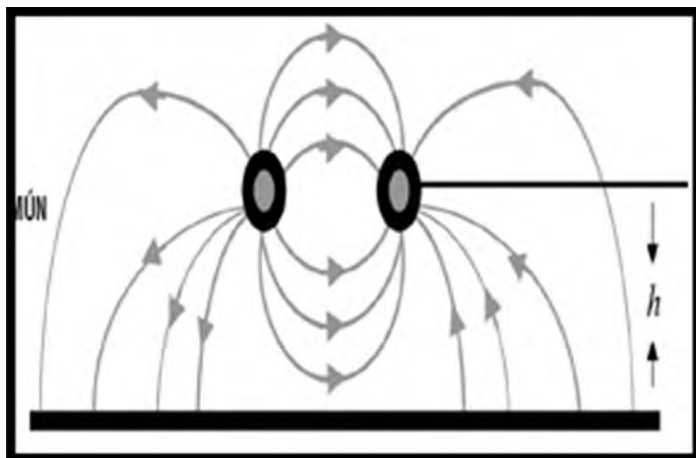


Figura 2. Corrientes de Modo Común.

Es importante recordar que la susceptibilidad total de los cables de par trenzado a la perturbación del campo eléctrico depende tanto del desempeño simétrico del cableado como de la presencia de una pantalla o blindaje.

Los cables bien equilibrados (por ejemplo, Categoría 6 y superiores) deberían ser inmunes a la interferencia electromagnética de hasta 30 MHz. La presencia de un blindaje o pantalla es necesaria para evitar la interferencia electromagnética a frecuencias más altas, lo que representa una consideración especialmente crítica para las aplicaciones de la próxima generación. Por ejemplo, al modelar una aplicación nueva que utilice técnicas de procesamiento de señales digitales (DSP) es razonable suponer que necesitará una relación señal-ruido (SNR) mínima de 20 dB a 100 MHz. Ya que el aislamiento mínimo producido únicamente por la simetría es también de 20 dB a 100 MHz, el agregado de una pantalla o blindaje es necesario para asegurar que esta aplicación cuente con un margen de inmunidad al ruido suficiente para el funcionamiento.

4. BUCLES DE TIERRA

Los bucles de tierra se desarrollan cuando hay más de una conexión a tierra y la diferencia entre las tensiones de modo común en estas conexiones a tierra introduce (genera) ruido en el cableado, tal como se muestra en la figura 4. Es un concepto erróneo considerar que el ruido de modo común producido por los bucles de tierra puede aparecer únicamente en pantallas y blindajes; este ruido también aparece frecuentemente en los pares trenzados.

Un aspecto clave sobre la tensión generada por los bucles de tierra es que su forma de onda está directamente relacionada con el perfil de la energía de corriente alterna del edificio. En los EE.UU. la frecuencia fundamental de 60 Hz y sus armónicas relacionadas constituyen el ruido, que se denomina generalmente “zumbido” de corriente alterna. En otras regiones del mundo, el ruido está constituido por la frecuencia fundamental de 50 Hz y sus armónicas relacionadas.

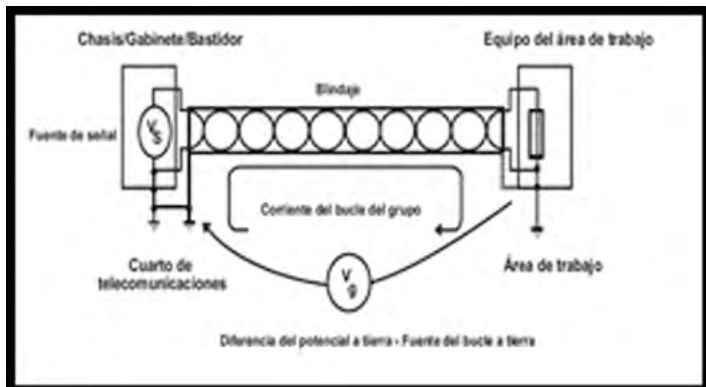


Figura 3. Introducción de Bucles De Tierra.

Nota: Blindaje conectado a tierra en la cuarto de telecomunicaciones (TR).

Nota: En el área de trabajo hay una trayectoria de tierra que va desde el chasis o gabinete del equipo al blindaje.

Rechazo de ruido de modo común tanto en el extremo de la tarjeta de interfaz de red (NIC) como en el de los equipos de la red, las diferencias entre las relaciones de espiras y las impedancias de tierra de modo común pueden generar ruido de modo común. La magnitud del ruido inducido en los pares trenzados puede reducirse, pero no eliminarse, mediante el uso de terminaciones de modo común, bobinas y filtros en los equipos. Los bucles de tierra inducidos en la pantalla o blindaje

se producen generalmente a causa de una diferencia de potencial entre la conexión a tierra en la barra de conexión a tierra para telecomunicaciones (TGB) y la conexión a tierra del edificio suministrada a través del chasis del equipo de red en el extremo del cableado ubicado en el área de trabajo. Tenga en cuenta que no es obligatorio para el fabricante de equipo proporcionar una trayectoria de tierra del edificio de baja impedancia desde el conector (jack) blindado RJ45 hasta el chasis del equipo. A veces el chasis se aísla de la conexión a tierra del edificio con un circuito protector RC; en otros casos, el conector (jack) blindado RJ45 se encuentra completamente aislado de la tierra del chasis.

Las normas TIA e ISO identifican el umbral en el que se desarrolla un bucle de tierra de efecto excesivo como el punto en que la diferencia entre la tensión medida en el blindaje en el extremo del cableado correspondiente al área de trabajo y la tensión medida en el cable de tierra del tomacorriente utilizado para suministrar energía a la estación de trabajo supera 1.0 V de valor eficaz (rms). Esta diferencia de potencial debe medirse y corregirse en campo para asegurar un funcionamiento correcto de los equipos de red, pero es muy raro encontrar valores superiores a 1.0 V rms en países como los EE.UU. que tienen sistemas de conexión a tierra de edificios cuidadosamente diseñados y especificados. Además, dado que la tensión de modo común inducida por los bucles de tierra es de baja frecuencia (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz y sus armónicas), el desempeño simétrico de la planta de cableado es suficiente por sí solo para asegurar la inmunidad, independientemente de la magnitud real de la tensión.

5. DISEÑO DE PANTALLAS Y BLINDAJES

El blindaje ofrece las ventajas de un desempeño mejorado contra las diafonías de par a par y exógena, y una inmunidad al ruido que no puede alcanzarse con ninguna otra estrategia de diseño de cableado.

Los cables F/UTP de Categoría 6A e inferiores están contruidos con una pantalla metálica que envuelve por completo cuatro pares trenzados, tal como se muestra en la figura 5.

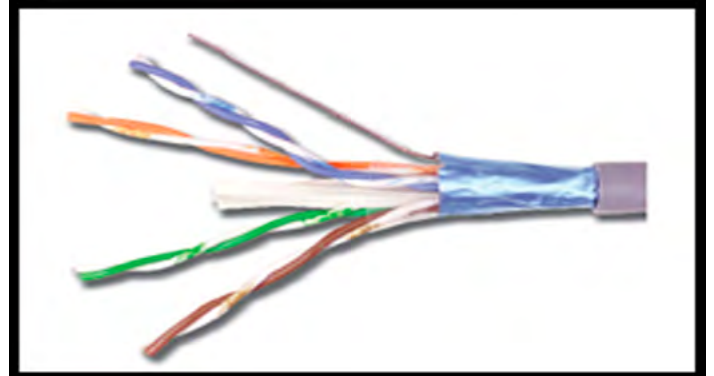


Figura 5. Construcción de F/UTP

Los cables S/FTP de Categoría 7 y superiores están contruidos con un conductor de malla que envuelve por completo cuatro pares blindados individualmente con pantalla metálica, tal como se muestra en la figura 6.

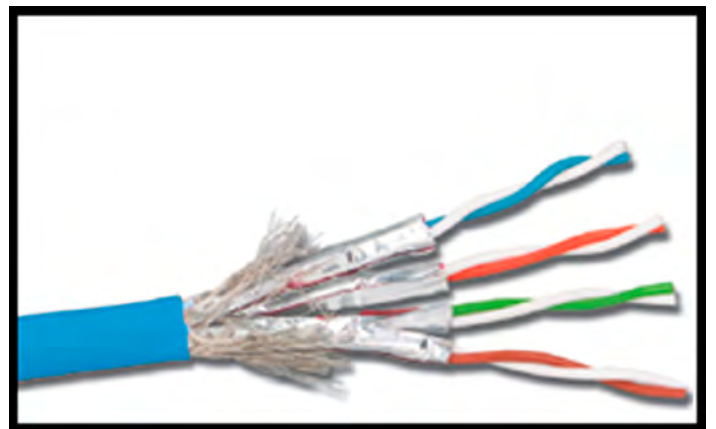


Figura 6. Construcción de S/FUTP

A veces se proporcionan conductores de retorno por tierra opcionales. Los materiales de blindaje se seleccionan en base a su aptitud para maximizar la inmunidad contra la perturbación del campo eléctrico por sus propiedades de reflexión de las ondas entrantes y de absorción, y por su capacidad de proporcionar una trayectoria de señal de baja impedancia. Como regla general, los materiales de blindaje más conductivos producen mayores magnitudes de reflexión de las señales entrantes. El medio de blindaje preferido para el cableado en telecomunicaciones es la pantalla de aluminio sólido, ya que proporciona una cobertura del 100% contra la fuga de alta frecuencia (es decir, superior a 100 MHz), así como una resistencia eléctrica baja si se conecta a tierra correctamente.

El espesor del blindaje de la pantalla metálica se ve influenciado por el efecto pelicular de las corrientes de ruido de interferencia. El efecto pelicular es el fenómeno

por el cual la profundidad de penetración de la corriente de ruido disminuye al aumentar la frecuencia. Los espesores comunes de la pantalla metálica están entre 0.038 mm (1.5 mils) y 0.051 mm (2.0 mils) para equiparar la profundidad de penetración máxima de una señal de 30 MHz. Este enfoque del diseño asegura que las señales de frecuencias más altas no podrán atravesar el blindaje de la pantalla metálica. Las señales de frecuencias más bajas no generarán interferencias con los pares trenzados debido a su buen desempeño simétrico. Los conductores de malla y conductores de retorno por tierra agregan resistencia mecánica a los conjuntos de cables; además disminuyen la resistencia eléctrica de extremo a extremo del blindaje si el sistema de cableado está conectado correctamente a tierra.

6. CONEXIÓN A TIERRA DE SISTEMAS DE CABLEADO

La norma ANSI-J-STD-607-A-2002 define la infraestructura de conexión a tierra y de unión equipotencial para telecomunicaciones en edificios, la cual se origina en la tierra de la red eléctrica y se extiende por todo el edificio. Es importante consignar que esta definición de la infraestructura se aplica tanto a los sistemas de cableado UTP como a los apantallados y completamente blindados. La norma establece que:

1. La barra de conexión a tierra principal para telecomunicaciones

(TMGB) está unida a la tierra principal de la red eléctrica del edificio. Los métodos y materiales reales, así como las especificaciones apropiadas para cada uno de los componentes del sistema de conexión a tierra y de unión equipotencial para telecomunicaciones, varían de acuerdo al tamaño del sistema y de la red, la capacidad y las normas locales.

2. Si se utilizan barras de conexión a tierra para telecomunicaciones (TGB), éstas se unen a la barra de conexión a tierra principal para telecomunicaciones (TMGB) a través del eje troncal de unión equipotencial para telecomunicaciones.
3. Todos los bastidores y canalizaciones metálicas se conectan a la TMGB o la TGB.
4. La planta de cableado y los equipos de telecomunicaciones se conectan a tierra en los bastidores de los equipos o en las canalizaciones metálicas adyacentes.

Las normas TIA e ISO consignan un paso adicional para la conexión a tierra de sistemas de cableado apantallado y blindado. En concreto, las cláusulas 4.6 de ANSI/TIA-568-B.1 y 11.3 de ISO/IEC 11801:2002 establecen que el blindaje de cables debe estar unido a la barra de conexión a tierra para telecomunicaciones en el cuarto de telecomunicaciones, y que la conexión a tierra en el área de trabajo puede realizarse a través de la conexión de alimentación eléctrica de los equipos. Este procedi-

miento tiene como objetivo dar soporte a la configuración óptima de una sola conexión a tierra para minimizar la aparición de bucles de tierra, pero también reconoce que pueden estar presentes múltiples conexiones a tierra a lo largo del cableado.

Ya que al momento en que se desarrollaron las recomendaciones sobre conexión a tierra y unión equipotencial especificadas en la norma ANSI-J-STD-607-A-2002 se tenía en cuenta la posibilidad de que pudiera ocurrir una conexión a tierra en el área de trabajo a través de los equipos, no es necesario evitar específicamente la conexión a tierra del sistema apantallado/blindado en la computadora o dispositivo del usuario final.

Es importante destacar la diferencia entre una conexión a tierra y una conexión a la pantalla o blindaje. Una conexión a tierra une el sistema de cableado apantallado/blindado a la TGB o la TMGB, mientras que la conexión a la pantalla/blindaje mantiene una continuidad eléctrica de la pantalla/blindaje del cable a través de los conectores de telecomunicaciones apantallados/blindados en toda la longitud del cableado. Parte de la función de la pantalla o blindaje es proporcionar una trayectoria de tierra de baja impedancia para las corrientes de ruido que se inducen en el material de blindaje.

El cumplimiento de las especificaciones de las normas TIA

e ISO para los parámetros de impedancia de transferencia y atenuación del acoplamiento en cables y accesorios de conexión asegura la conservación de una trayectoria de baja impedancia a través de todos los puntos de conexión apantallados/blindados del sistema de cableado. Para alcanzar un desempeño óptimo de la inmunidad a la diafonía exógena y al ruido debe mantenerse la continuidad del blindaje por todo el sistema de cableado, de un extremo al otro. Debe evitarse el uso de cordones de parcheo UTP en sistemas de cableado apantallados/blindados.

Se aconseja que los usuarios finales de edificios confirmen que los sistemas de cableado apantallados y blindados estén correctamente conectados a tierra en la TGB o la TMGB. Un plan de inspección recomendado es:

1. Realizar una inspección visual para verificar que todos los bastidores, gabinetes y canalizaciones metálicas de equipos estén unidos a la TGB o la TGMB mediante un conductor de calibre 6 AWG.
2. Realizar una inspección visual para verificar que todos los paneles de parcheo apantallados/blindados estén unidos a la TGB o la TGMB mediante un conductor de calibre 6 AWG.
3. Realizar una prueba de resistencia de CC para asegurarse de que la conexión a tierra de cada panel, bastidor y gabinete presente una resistencia de CC menor de 1Ω entre el punto de la unión equipotencial y la



TGB o la TMGB. (Nota: algunas normas locales o regionales especifican una resistencia de CC menor de 5Ω en esta ubicación.)

4. Documentar la inspección visual, los resultados de la prueba de CC y todo otro resultado correspondiente de la prueba del cobre o fibra.

7. EL MITO DE LA ANTENA

Es un mito común que las pantallas y blindajes pueden comportarse como antenas porque son piezas metálicas de gran longitud. Lo que se teme es que las pantallas y blindajes puedan “atraer” señales presentes en el ambiente o irradiar señales que aparezcan en los pares trenzados. La realidad es que tanto las pantallas y blindajes como los pares trenzados de cobre simétricos de un cable UTP se comportarán en cierto grado como una antena. La diferencia es que, como queda demostrado por el modelo simplificado de antena de cuadro, el ruido que se acopla a la pantalla o blindaje es en realidad de 100 a 1,000 veces menor en magnitud que el ruido que se acopla a un par trenzado no blindado en el mismo ambiente. Esto se debe a la impedancia de modo común del par interno respecto al plano de tierra, bien definida y controlada, que es proporcionada por la pantalla o blindaje. Lo que sigue es un análisis de los dos tipos de perturbadores de señal que pueden afectar al desempeño de la inmunidad al ruido del cableado de par trenzado simétrico: los de frecuencias menores a 30 MHz y los de frecuencias mayores a 30 MHz.

A frecuencias inferiores a 30 MHz, las corrientes de ruido del ambiente pueden penetrar la pantalla o blindaje y afectar a los pares trenzados. Sin embargo, el modelo simplificado de antena de cuadro muestra que la magnitud de estas señales es sustancialmente menor (y atenuada en su mayor parte por la pérdida de absorción de la pantalla de aluminio), lo que significa que los pares trenzados no blindados se encuentran sometidos, en un mismo ambiente, a una intensidad de campo eléctrico mucho mayor. La buena noticia es que el desempeño simétrico del cable alcanza por sí mismo, hasta los 30 MHz, para asegurar una susceptibilidad mínima a la perturbación por parte de estas fuentes de ruido, independientemente de la presencia de una pantalla/blindaje total.

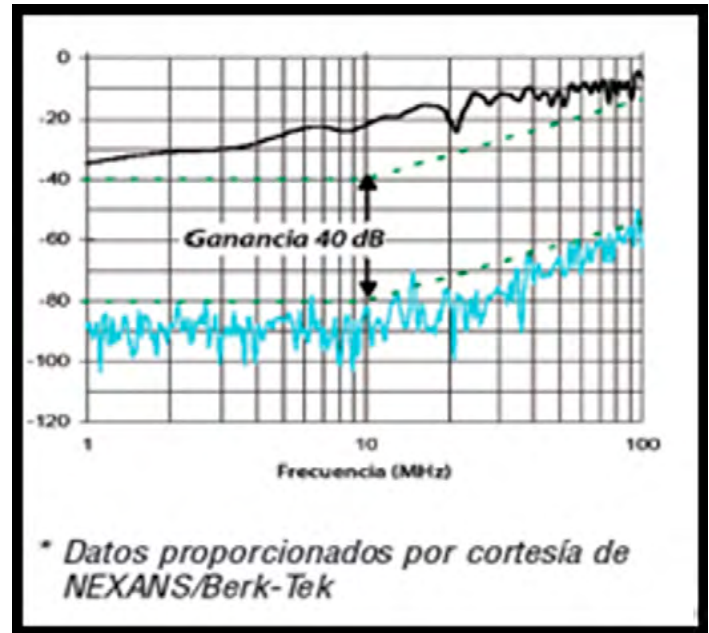


Figura 7. Comparación de susceptibilidades de UTP Y F/UTP

A frecuencias superiores a los 30 MHz, las corrientes de ruido del ambiente no pueden penetrar la pantalla o blindaje debido a los efectos peliculares y los pares trenzados internos son completamente inmunes a la interferencia. Desafortunadamente, el desempeño simétrico ya no es suficiente a estas frecuencias superiores para asegurar una inmunidad al ruido adecuada en el cableado UTP. Esto puede tener un efecto desfavorable sobre la capacidad del sistema de cableado de mantener los niveles SNR requeridos por las aplicaciones que emplean una tecnología DSP.

Una forma de verificar experimentalmente el potencial de un cable de comportarse como una antena es disponer en serie dos cables simétricos, introducir una señal en un cable para imitar una antena transmisora en un rango de barrido de frecuencia y medir la interferencia sobre un cable adyacente que imite una antena receptora[2]. Como regla general: cuanto más alta sea la frecuencia de la fuente de ruido, mayor será la posibilidad de interferencia. Como se muestra en la figura 7, el acoplamiento entre dos cables UTP (en negro en el gráfico) es peor en por lo menos 40 dB que la interacción entre dos cables F/UTP correctamente conectados a tierra (en azul en el gráfico).

Debe advertirse que un margen de 40 dB corresponde a un acoplamiento de tensión 100 veces menor, con lo

que se confirman las predicciones del modelo. Queda claro que el cable UTP irradia y recibe (es decir, se comporta como una antena) en una medida sustancialmente mayor que un cable F/UTP.

Un segundo mito de antena se relaciona con la creencia errónea de que las señales de modo común que aparecen en una pantalla o blindaje sólo pueden disiparse a través de una trayectoria de tierra de baja impedancia. El temor es que una pantalla no conectada a tierra irradie señales que “reboten de un lado a otro” y “se intensifiquen” sobre la pantalla o blindaje. La realidad es que una pantalla o blindaje que quede sin conexión a tierra, aún así atenuará sustancialmente las señales de frecuencias superiores debido al filtro low-pass formado por su resistencia, capacidad distribuida en paralelo e inductancia en serie.

El método experimental anterior puede utilizarse también para verificar los efectos de mantener sin conexión a tierra ambos extremos de un cable de par trenzado con cinta metálica. Como se muestra en la figura 8, el acoplamiento entre dos cables UTP (en negro en el gráfico) todavía es peor en por lo menos 20 dB que la interacción entre dos cables F/UTP sin conexión a tierra (en azul en el gráfico). Debe advertirse que un margen de 20 dB corresponde a un acoplamiento de tensión 10 veces menor. Aún en el peor caso, sin conexión a tierra, el cable UTP se comporta más como una antena que el cable F/UTP.

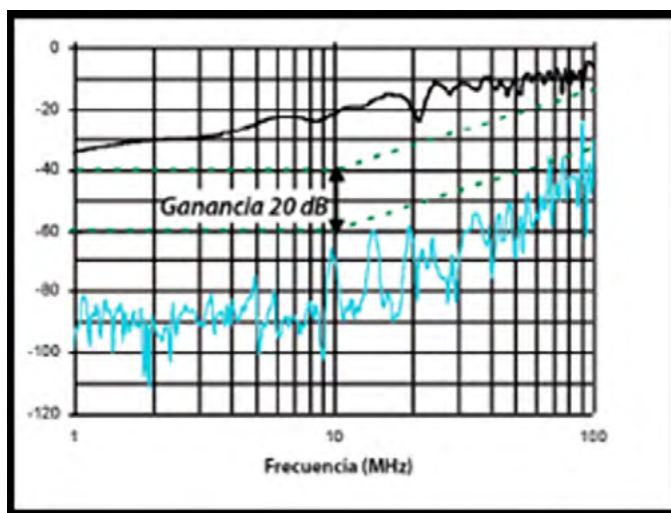


Figura 8. Comparación de susceptibilidades de UTP y F/UTP no conectado a tierra.

Datos proporcionados por cortesía de NEXANS/Berk-Tek

Los resultados modelados y experimentales disipan claramente el mito de la antena. Es un hecho que las pantallas y blindajes ofrecen una inmunidad al ruido sustancialmente mejorada por encima de los 30 MHz en comparación a las construcciones no blindadas, y lo hacen aunque su conexión a tierra sea incorrecta.

8. EL MITO DEL BUCLE DE TIERRA

Es un mito común que los bucles de tierra sólo aparecen en sistemas de cableado apantallados y blindados. El temor es que los bucles de tierra que surjan por una diferencia de tensión entre las conexiones a tierra de un sistema de cableado apantallado/blindado produzcan excesivas corrientes de modo común, que puedan afectar en forma desfavorable a la transmisión de datos. La realidad es que tanto las pantallas y blindajes como los pares trenzados simétricos de un cable UTP están afectados por diferencias de tensión en los extremos del canal.

La diferencia entre las impedancias de terminación de modo común del transformador en la NIC y en los equipos de la red genera lógicamente una corriente de ruido de modo común que se induce en cada par trenzado. También la conexión a tierra del sistema apantallado/blindado en varias ubicaciones puede generar una corriente de ruido de modo común inducida sobre la pantalla o blindaje. Sin embargo, estas corrientes de ruido de modo común no afectan a la transmisión de datos porque, independientemente de la magnitud de su tensión, su forma de onda siempre está asociada con el perfil de la energía de CA del edificio (es decir 50 Hz o 60 Hz). Debido a la excelente simetría del cableado a bajas frecuencias, las corrientes de modo común inducidas en el par trenzado, ya sea que provengan directamente de las diferencias de impedancia de los equipos o que se acoplen desde una pantalla o blindaje, se anulan en el transceptor por simple sustracción, como parte del algoritmo de transmisión diferencial.

9. POR QUÉ USAR CABLEADO APANTALLADO Y COMPLETAMENTE BLINDADO

Las ventajas de desempeño que se obtienen por el uso de sistemas apantallados y completamente blindados son numerosas e incluyen:

1. Una diafonía de par a par reducida en diseños completamente blindados.
2. Una diafonía exógena reducida en diseños apantallados y completamente blindados.
3. Un mayor llenado o utilización de las canalizaciones, gracias al menor diámetro de los cables apantallados de Categoría 6A en comparación con los cables UTP de Categoría 6A.
4. Una inmunidad al ruido sustancialmente mejorada a cualquier frecuencia, y especialmente por encima de los 30 MHz, cuando la simetría del cable comienza a degradarse considerablemente.
5. Una capacidad de Shannon considerablemente aumentada para aplicaciones futuras.

10. CONCLUSIONES

El margen alcanzable de la relación señal-ruido (SNR) depende de las propiedades combinadas de la simetría del cableado y de la inmunidad al ruido de modo común y de modo diferencial proporcionada por las pantallas y blindajes. Las aplicaciones dependen de un margen positivo de SNR para asegurar una correcta transmisión de señales y una tasa de errores de bits (BER) mínima. Con el surgimiento de la 10GBASE-T, se ha vuelto evidente que el aislamiento del ruido proporcionado únicamente por una buena simetría apenas alcanza para el logro de los objetivos de transmisión.

Está demostrado que las ventajas de inmunidad a la diafonía exógena y al ruido proporcionadas por los diseños de cableado F/UTP y S/FTP ofrecen casi el doble de capacidad de Shannon, y esta ventaja de desempeño ha llamado la atención de los desarrolladores de aplicaciones y de los especificadores de sistemas. Suele decirse que la industria de las telecomunicaciones ha vuelto al punto de partida en la especificación de su tipo de medio preferido. En la actualidad, los sistemas de cableado apantallados y completamente blindados representan una combinación de las mejores características de las dos últimas genera-

ciones de cableado LAN: una simetría excelente para la protección contra la interferencia de baja frecuencia y un blindaje para la protección contra la interferencia de alta frecuencia.

10.1 Consideraciones para Seleccionar un Fabricante de Cableado

Cuando se selecciona un fabricante de cableado estructurado, una de las tareas más difíciles es poder evaluar lo que puede llegar a significar para nuestra empresa los informes de certificación, el nivel de soporte y las garantías de cada uno de los posibles proveedores.

No hay duda de que la calidad del sistema es el factor más importante para que su red funcione de forma óptima. Pero la calidad de los productos puede ser deteriorada si la instalación no es la apropiada. Para que una red sea instalada correctamente, la formación de los instaladores se convierte también en un factor esencial. Por lo tanto, el proceso para seleccionar un cableado puede ser infructuoso a no ser que se tomen en consideración todos estos factores.

Cuando se inicia el proceso de selección del fabricante, una de las primeras cosas a evaluar son los informes de certificación. Los resultados de estas pruebas pueden ser resultados típicos (medios) o resultados en el peor caso. Es importante saber de cuál de los dos se trata, ya que no son comparables.

En el caso en que todos los fabricantes den información del comportamiento del sistema en el peor caso, es importante mirar los resultados de los parámetros de la prueba, para determinar cuál es el mejor.

El utilizar las pruebas de laboratorios independientes como único criterio para evaluar a los fabricantes no proporciona una indicación real del funcionamiento del sistema: Las empresas envían los canales al laboratorio, éstos han sido previamente terminados por el fabricante, y puede darse el caso de que ese canal haya sido preseleccionado, es decir, el fabricante puede terminar muchos canales y enviar sólo los mejores al laboratorio.

La mayoría de resultados de las pruebas tienen una cláusula de limitación, que dice algo así como “a solicitud del

cliente, el objetivo de este informe es proporcionar los datos de rendimiento eléctrico de esta muestra. No es válido el uso de este informe para ningún otro propósito". Aunque el texto puede variar según el laboratorio que lo redacte, la realidad es que el hecho de basar su decisión exclusivamente en este tipo de informes puede no ser la mejor opción.

De hecho, muchos usuarios finales han tomado la decisión de hacer ellos mismos las pruebas como alternativa a lo anterior. Estas pruebas pueden ser un tipo de validación, pero la realidad es que, los resultados pueden ser muy diferentes en función de las prácticas de instalación

Los procedimientos para establecer las pautas de prueba de los diferentes sistemas por el usuario final deben incluir la evaluación de los canales en función de la frecuencia y en función del tiempo. Eso permite a su empresa evaluar el producto en función de sus pruebas, realizadas por sus propios técnicos. De hecho, así es como será instalado el sistema en la realidad, y sus técnicos e instaladores son los que tendrán más influencia en la validación del funcionamiento y estabilidad del canal.

Sería interesante que el entorno de las pruebas no fuera el ideal, sino más realista. Por ejemplo, los instaladores a veces se equivocan, y deben re terminar o rematar conectores. Cuando es ese el caso, ¿los conectores todavía conservan el rendimiento previsto? ¿Esta modificación afecta los resultados de las pruebas de forma significativa?: El ahorro de un sistema respecto a otro puede disminuir substancialmente si hay que utilizar un nuevo conector por cada error de terminación. Ésta es también una forma de evaluar lo fácil que es trabajar el producto, la calidad del producto, etc. Todo esto es considerablemente mejor que el resultado de las pruebas por sí solas.

Los resultados de las pruebas también pueden variar en función de los parámetros. Es decir, por ejemplo, algunos pueden ser mejores en NEXT que en ACR. Es importante tener en cuenta que la mayoría del equipo activo tiene la electrónica necesaria para cancelar ruido hasta un cierto nivel, o incluso totalmente. Por lo tanto, a determinado nivel, una mejora del canal en este sentido tiene beneficios dudosos ya que ese ruido será

eliminado por la electrónica de red. Si lo que decidimos es comparar valores puntuales, tampoco es una decisión adecuada, sino que lo más apropiado es comparar el rendimiento del canal en funciónLa segunda área a examinar es la formación o capacitación suministrada por el fabricante. Algunas certificaciones son abiertas a casi cualquiera, y sólo requieren una clase de dos horas de terminación de componentes. de otros parámetros, tal y como ya se ha comentado anteriormente.

La segunda área a examinar es la formación o capacitación suministrada por el fabricante. Algunas certificaciones son abiertas a casi cualquiera, y sólo requieren una clase de dos horas de terminación de componentes.

El mejor training debe incluir el canal entero para cobre y para fibra, y debe incluir todas las fases desde el diseño, tendido del cable, terminaciones y evaluación final. Y si una entidad independiente, como BICSI, certifica el curso de capacitación, incluso mejor. Todo ello le proporciona a usted la seguridad de que la capacitación ha sido revisada y las prácticas enseñadas son correctas. Habitualmente, una entidad como BICSI otorgará créditos para sus certificaciones en función del curso. De la misma forma, los cursos de formación deben cumplir con ISO para asegurar que todos los instaladores de cualquier parte del mundo reciben la misma formación, y por tanto la calidad de la instalación en su empresa no depende de donde se haga.

En tercer lugar hay que evaluar los servicios de soporte y ayuda del fabricante. Éstos deben incluir servicios como la asistencia en el diseño, auditorías de instalación, capacitación continua (al igual que para sus instaladores), y otros programas que pueden ser beneficiosos para su empresa. Aunque el costo de estos servicios puede variar, el hecho de que usted pueda disponer de ellos le permite crear una relación de larga duración con el fabricante, en vez de una de compra de productos puntual.

Piense que, si el fabricante tiene esos programas ya desarrollados, es porque ha tenido necesidad de ello, por exigencias de sus clientes actuales. Por lo tanto, eso es un buen indicador de que esta empresa escucha y realiza las acciones pertinentes para cuidar a sus usuarios finales. También puede ser un buen indicador de que dará un buen servicio ante cualquier eventualidad du-

rante la instalación o garantía del sistema. Por lo tanto, este nivel de respaldo del proveedor es un parámetro crítico para el éxito de su proyecto.

Y por último, debe usted evaluar la garantía. Las garantías difieren mucho entre sí, si se estudian con atención. Algunas son sólo para los componentes, otras incluyen la sustitución con componentes reparados, y otras son para componentes y mano de obra. Esto último es particularmente importante, ya que para usted es importante tener claro con quién hay que contactar para cualquier eventualidad durante la garantía, si con el instalador o con el fabricante.

Lo mejor es poder llamar al fabricante, sin limitaciones temporales, ya que el mundo de las empresas instaladoras es muy cambiante. Por ejemplo, algunas garantías requieren informar sobre el defecto en 5 días, pero en la práctica, al intentar solventar un problema no se puede asegurar que en 5 días sabrá si el culpable del mismo es la infraestructura, ya que este proceso es metódico, y se van eliminando los posibles causantes del problema de uno en uno, hasta llegar al correcto, y sólo entonces se hacen las pruebas apropiadas.

Algunas garantías cubren componentes, mano de obra y aplicaciones, básicamente diciendo que cualquier aplicación que haya sido diseñada para funcionar en ese sistema, lo hará, o el fabricante deberá solventar el problema.

La duración del periodo de garantía puede ser muy largo o muy corto, pero debe cubrir todo el tiempo de utilización de esa instalación por parte de su empresa. Los años adicionales a eso carecen de sentido para ustedes. De esta forma, la estabilidad de la empresa que le ha de ofrecer la garantía es esencial para poder determinar si esa empresa seguirá allí durante toda la duración de la misma.

En definitiva, lo ideal es una garantía que cubra un periodo de tiempo razonable y con contacto directo con el fabricante sin limitaciones temporales, y con un punto de contacto único para la solución de problemas. Y, por supuesto, sin letra pequeña que pueda significar un problema en el futuro.

Debe usted insistir en evaluar el 100% de sus canales

para poder proporcionar la información necesaria para asegurar la funcionalidad óptima de su infraestructura. Y, por último, el fabricante debe revisar los resultados de estas pruebas para asegurar que su producto ha sido instalado correctamente y su rendimiento será el esperado. Es mucho más sencillo solventar los problemas antes, que una vez que el sistema está a pleno funcionamiento y exista el riesgo de una caída de red.

La estabilidad de un fabricante, su nivel de soporte, su garantía y sus productos deben ser examinados conjuntamente para determinar el mejor aliado para sus instalaciones de red. Al fin y al cabo, cuando usted compra un coche, mira muchas más cosas que la etiqueta del precio. Lo prueba, estudia la garantía, la fiabilidad, y muchos otros factores. El proceso debe ser similar para la infraestructura de red, para asegurar que las aplicaciones y la electrónica que va a utilizar, funcionaran de forma óptima. Al seleccionar un aliado, más que un proveedor de productos, puede estar usted seguro de que, a largo plazo, tendrá usted su respaldo tanto para el proyecto actual como para acciones futuras.

11. BIBLIOGRAFÍAS

Alcatel Cabling Systems, (1999). 'The Impact of Cabling Installation Practices on High Speed Performance', 1999

B. Lord, P. Kish, y J. Walling, Nordx/CDT,(1997). 'Balance Measurements of UTP Connecting Hardware', 1996
M. Pelt, Alcatel Cabling Systems, 'Cable to Cable Coupling', 1997

BESTAK, R. - PRAVDA, I. - VODRAZKA, J, 82007). Principle of Telecommunication Systems and Networks. 1.

Ed. Prague: Ceska technika - nakladatelstvi CVUT, 2007. 134 p. ISBN 978-80-01-03612-9.

E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, (2011) "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," Academic Press, 2011.

Galileo Open Service, (2006): Signal In Space Interface Control Document, Draft 0, May 2006

GAST, Matthew,(2002). 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. 1st edition, 2002. 464s. ISBN 0-596-00183-5.

G. Heine, H. Sagkob,(2003). GPRS: Gateway to Third Ge-

- neration Mobile Networks”, ISBN: 1-58053-159-8, 2003.
Global Positioning System Standard Positioning Service,(2008): Performance Standard, 4th edition, September 2008
- Global Positioning System Standard Positioning Service, (1995).
Signal Specification, 2nd edition, June 1995
- H. Holma, A. Toskala,(2011). “LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced,” Second edition, Wiley, 2011.
- H. Holma, A. Toskala,(2006). WCDM for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, third edition, ISBN: 978-0-470-87096-9, 2006.
- H. Holma, A. Toskala,(2006). HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communication” ISBN: 978-0-470-01884-2, 2006.
- JANSEN H., RÖTTER H. And coll, (2003).
Informationstechnik und Telekommunikationstechnik (Lernmaterialien), Europa-Lehrmittel, Haan 2003. ISBN 38085-3623-3.
- L. Halme y R. Kyoten,(1998). ‘Background and Introduction to EM screening (Shielding)
Behaviors and Measurements of Coaxial and Symmetrical Cables, Cable Assemblies, and Connectors’, IEE Colloquium on Screening Effectiveness Measurements (Nº de ref. 1998/452), págs. 8/1 a 8/7, 1998
- METTALA, , Riku, (2001). Bluetooth Protocol Architecture, Version 1.0. White Paper, 1999.
Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Profiles, Volume 2, February 2001.
- M. Maki, S. Hamada, M. Tokuda, Y. Shimoshio, & H. Koga, (2001).
‘Immunity of Communications Systems using a Balanced Cable’, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, vol. 1, págs. 37 a 42, 2001.
- M. Pelt, D. Hess, (1998). Alcatel Cabling Systems,
‘The Relationship between EMC Performance and Applications’.
- M. Sauter, (2011). “From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband” Wiley, 2011.
- Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, (2004). Interface Specifications, Revision D, December 2004 ROYER, Elizabeth, (1999). A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. 1999. S. Hamada, T. Kawashima, J. Ochura, M. Maki, Y. Shimoshio, & M. Tokuda, (2001). ‘Influence of Balance-Unbalance Conversion Factor on Radiated Emission Characteristics of Balanced Cables’, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, vol. 1, págs. 31 a 36, 2001
- Specification of the Bluetooth System, (2004).
Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.0 + EDR, Volume 0 – 3, November 2004.
- Specification of the Bluetooth System, (2007).
Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.1 + EDR, Volume 0 – 4, July 2007.
- Specification of the Bluetooth System, (2009).
Wireless Connections Made Easy, Core Package version 3.0 + HS, Volume 0, April 2009
- Specification of the Bluetooth System, (2010).
Experience More, Core Package version 4.0, Volume 0, June 2010 S. Steiniger, M. Neun, A. Edwardes, (2014). “Foundations of Location Based Services”, University of Zurich.
- T. Halonen, J. Romero, J. Melero, (2004). GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS”, ISBN: 0-470-86694-2, 2004.