

## Capítulo 7: Redes LAN: Topología y Arquitectura de Protocolos

Este capítulo introduce las redes de área local (LAN), destacando su alta capacidad de transmisión de datos y su propiedad privada, generalmente perteneciente a la organización que las utiliza.

**1. Topologías en Redes LAN** La topología se refiere a la forma en que los puntos finales de una red se interconectan. Históricamente, las topologías comunes para LANs han sido bus, árbol, anillo y estrella. Actualmente, la topología en estrella es la dominante.

- **Topología Bus:** Se caracteriza por el uso de un medio multipunto (cable conductor) al que todas las estaciones se conectan directamente. Las transmisiones se propagan en ambos sentidos y son recibidas por todas las estaciones. Los terminadores en los extremos absorben las señales para eliminarlas del bus. Los problemas incluyen la necesidad de métodos para indicar el destinatario de la transmisión y mecanismos para regularla, evitando colisiones. Estos problemas se resuelven transmitiendo datos en pequeñas unidades llamadas tramas, que incluyen una cabecera con información de control y la dirección de destino única de la estación.
- **Topología Estrella:** Cada estación se conecta directamente a un nodo central (hub o switch) mediante enlaces punto a punto.
  - **Modo Difusión (con Hub):** El nodo central (hub) retransmite la trama a todos los enlaces de salida. Lógicamente, funciona como un bus, permitiendo que solo una estación transmita a la vez.
  - **Modo Conmutación (con Switch):** El nodo central (switch) almacena la trama entrante y la retransmite solo al enlace de salida de la estación destino, leyendo la dirección de destino en la cabecera. Este modo es el dominante en las LAN actuales debido a su mayor capacidad de transmisión.

**2. Arquitectura LAN (Modelo IEEE 802)** La arquitectura de una LAN se describe mediante una estratificación de protocolos. El modelo de referencia IEEE 802 fue adoptado para estandarizar las LAN, abarcando las capas Física, Control de Acceso al Medio (MAC) y Control de Enlace Lógico (LLC).

- **Capa Física:** Coincide con la capa física del modelo OSI e incluye funciones como codificación/decodificación de señales, generación/eliminación de preámbulo y transmisión/recepción de bits. También especifica el medio de transmisión y la topología, elementos críticos en el diseño de LAN.
- **Capa Enlace de Datos:** En el modelo de referencia LAN, se divide en dos subcapas:
  - **Control de Acceso al Medio (MAC):** Gestiona el ensamblado/desensamblado de tramas, el reconocimiento de direcciones y el control de acceso al medio de transmisión.

- **Control de Enlace Lógico (LLC):** Se encarga de la interfaz con las capas superiores y del control de errores y flujo. La separación de funciones se debe a que las LAN de difusión usan un medio compartido, a la posibilidad de múltiples opciones MAC para el mismo LLC, y a la ausencia de nodos de conmutación en las LAN de difusión, donde el protocolo MAC maneja la entrega de paquetes.

**3. Control de Enlace Lógico (LLC)** La capa LLC gestiona la transmisión de una unidad de datos de protocolo de nivel de enlace (PDU) entre dos estaciones sin un nodo de conmutación intermedio. Sus características clave son el soporte para acceso múltiple en un medio compartido y la descarga de detalles de acceso al enlace a la capa MAC. Las direcciones de usuario LLC se denominan puntos de acceso al servicio (SAP).

LLC ofrece tres servicios a la capa superior:

- **Servicio no orientado a conexión sin confirmación (tipo datagrama):** Sencillo, sin control de flujo ni errores, no garantiza la recepción. Es útil cuando las capas superiores proporcionan fiabilidad o cuando el costo de establecer una conexión es injustificado (ej. adquisición de datos periódica).
- **Servicio en modo conexión:** Similar a HDLC, establece una conexión lógica con control de flujo y errores, garantizando la recepción de datos. Adecuado para dispositivos simples.
- **Servicio no orientado a conexión con confirmación:** Mezcla de los anteriores; los datagramas son confirmados pero sin conexión lógica previa. Útil cuando se necesita garantizar la recepción sin el costo de mantener muchas tablas de estado de conexión, o para señales urgentes que requieren confirmación inmediata.

El protocolo LLC se basa en HDLC. Define tres tipos de operaciones:

- **Operación tipo 2:** Soporte al servicio en modo conexión, usando el modo balanceado asíncrono de HDLC.
- **Operación tipo 1:** Servicio no orientado a conexión sin confirmación, usando PDU de información no numerada.
- **Operación tipo 3:** Servicio no orientado a conexión confirmado, usando nuevas PDU no numeradas.

Las PDU LLC utilizan el mismo formato general de trama MAC, con campos para DSAP (dirección de servicio destino), SSAP (dirección de servicio origen) y control LLC.

**4. Control de Acceso al Medio (MAC)** Los protocolos MAC controlan el acceso a la capacidad de transmisión compartida de la red. Se clasifican por su control (centralizado o distribuido) y por su modo de acceso (síncrono o asíncrono).

- **Control Centralizado:** Un controlador concede acceso, lo que permite prioridades y capacidad garantizada, y simplifica la lógica en las estaciones. Desventajas: punto único de falla y posible cuello de botella.
- **Control Distribuido:** Las estaciones determinan dinámicamente el orden de transmisión. Ventajas y desventajas opuestas a los centralizados.
- **Técnicas Asíncronas (dinámicas):** Preferibles en LAN y MAN debido a la imprevisibilidad del tráfico. Se subdividen en:
  - **Rotación circular:** Cada estación tiene la oportunidad de transmitir por turnos. Eficiente con tráfico continuo y largo.
  - **Reserva:** El tiempo se divide en ranuras, y las estaciones reservan futuras ranuras para transmisiones continuas. Adecuado para tráfico continuo.
  - **Contención:** Todas las estaciones compiten por el medio. Sencillas de implementar y eficientes con carga baja o moderada, pero el rendimiento puede deteriorarse con carga alta. Las técnicas de rotación circular y contención son las más comunes.

**5. Puentes (Bridges)** Los puentes se utilizan para interconectar LAN, especialmente aquellas que usan protocolos idénticos en las capas física y MAC (ej. IEEE 802.3). Sus funciones incluyen leer tramas en una LAN, aceptar las dirigidas a la otra LAN, y retransmitirlas. No modifican el contenido ni el formato de las tramas. Ofrecen beneficios como fiabilidad (dividiendo la red en unidades autocontenidas), mejoras de rendimiento (agrupando tráfico local), seguridad y soporte geográfico.

- **Encaminamiento Estático:** Se selecciona una ruta fija para cada par de LAN origen-destino, generalmente la de menor número de saltos. Las tablas de encaminamiento se cargan manualmente en cada puente. Es adecuado para redes pequeñas y estables.
- **Técnica del Árbol de Expansión (Spanning Tree Protocol, 802.1D):** Permite a los puentes desarrollar automáticamente tablas de encaminamiento y actualizarlas dinámicamente en respuesta a cambios en la topología, evitando bucles cerrados. Las reglas de retransmisión implican buscar la dirección de destino en una base de datos y, si no se encuentra, reenviar la trama por todos los puertos excepto el de origen. El aprendizaje de direcciones se basa en la dirección de origen de las tramas MAC, actualizando una base de datos con temporizadores para cada entrada.

**6. Hubs (concentradores) y Switches (conmutadores)** Los hubs y switches son equipos electrónicos para la interconexión de redes LAN. Los hubs están prácticamente en desuso.

- **Concentradores (Hubs):** Son elementos activos que actúan como el centro de una topología en estrella. Replican la señal a todas las estaciones conectadas,

funcionando lógicamente como un bus donde solo una estación puede transmitir a la vez.

- **Conmutadores de capa dos (Switches):** Han reemplazado a los hubs. Actúan con "inteligencia", enviando tramas solo a la línea de salida apropiada para el destino, permitiendo transmisiones simultáneas entre pares de puertos y aumentando el rendimiento total de la LAN. Los switches permiten la transmisión full-duplex.

#### **Funcionalidades del Switch:**

- Básicamente un puente multipuerto con software y hardware optimizado para baja latencia.
- Mantiene una tabla de filtrado con direcciones MAC, puertos y temporizadores.
- Puede establecer conexiones simultáneas.
- Permite transmisión full-duplex y agrega mayor capacidad de transmisión.

**Componentes de un Switch:** Puertos, buffers, mecanismos de retransmisión de datagramas y backplane.

#### **Mecanismos de Retransmisión:**

- **Almacenamiento y envío (store and forward):** El switch almacena la trama completa, realiza control de errores (CRC) y descarta tramas con errores antes de reenviarlas. Introduce mayor retardo pero asegura la integridad.
- **Rápido (cut through):** El switch solo almacena la dirección de destino (6 bytes) y retransmite inmediatamente. Ofrece alta velocidad y baja latencia, pero puede retransmitir datagramas defectuosos si hay errores.
- **Rápido modificado (modified cut through):** Similar al rápido, pero almacena 64 bytes antes de enviar, ya que la mayoría de los errores y colisiones ocurren en los primeros 64 bytes. Menos usado.

**Arquitectura del Backplane:** Define la eficiencia de transmisión de datagramas. Se mide por la "capacidad" (bits por segundo) y el "throughput" (paquetes por segundo). La "latencia" es el tiempo de procesamiento de un paquete dentro del conmutador.

**Otras Características de los Switches:** Ubicación en la red (escritorio, grupo, troncal), número de direcciones MAC por puerto, administración y monitoreo (CLI, GUI, SNMP), conexión con otras normas, control de tormenta de broadcast, implementación de VLAN, funciones de capa 3 (ruteo), puertos MDI/MDIX y agregación de puertos (IEEE 802.3ad).

#### **Tipos de Switches (según taxonomía):**

- **Switches de Escritorio:** Básicos, no gestionables, para pocas conexiones (4-8 puertos RJ-45, 10/100 Mbps).

- **Switches de Grupo de Trabajo o Perimetrales:**
  - **No administrables:** Para redes pequeñas/medias, no configurables, más puertos (4-24) que los de escritorio, montaje en rack posible.
  - **Administrables:** Para redes medias/grandes, ofrecen características avanzadas de configuración y gestión (SNMP, Port Mirroring, Port Trunking, Spanning Tree, QoS, VLAN, etc.), más puertos (16-48) y puertos modulares (GBIC/SFP).
- **Switches Troncales de Prestaciones Medias:** Núcleo de redes medias, altas prestaciones, incluyen ruteo IP (capa 3), hasta 48 puertos 10/100 y puertos modulares para Gigabit Ethernet y 10GbE.
- **Switches Troncales de Altas Prestaciones:** Alta modularidad (chasis con slots para módulos "hot swappable"), para grandes redes corporativas, campus o redes metropolitanas. Ofrecen funciones de conmutación y ruteo en niveles 2/3/4, fuentes de alimentación redundantes y gran densidad de puertos (hasta 500 puertos 10/100, 200 Gigabit o 25 10GbE).

**7. Apéndice A: Protocolos de Control de Enlace de Datos: Control de Flujo y Control de Errores, Protocolo HDLC** Esta sección aborda las técnicas para asegurar la transmisión fiable de datos y la regulación de la velocidad del flujo de datos.

**Control de Flujo:** Asegura que una entidad transmisora no sature a la receptora con demasiados datos.

- **Parada y Espera:** El origen transmite una trama y espera una confirmación antes de enviar la siguiente. El destino puede detener el flujo reteniendo las confirmaciones. Es simple y funciona bien con mensajes grandes de pocas tramas, pero es ineficiente cuando se envían muchos bloques pequeños, ya que solo una trama puede estar en tránsito a la vez.
- **Ventana Deslizante:** Permite que varias tramas estén en tránsito simultáneamente, mejorando la eficiencia. El receptor reserva memoria temporal para W tramas, y el emisor puede enviar W tramas sin esperar confirmación. Las tramas se numeran secuencialmente, y las confirmaciones indican la próxima trama esperada, confirmando implícitamente las anteriores. El emisor mantiene una ventana de tramas permitidas para transmitir, y el receptor una ventana de tramas esperadas. Se utiliza una numeración modular (ej., de 0 a 7 para 3 bits). El receptor puede enviar un mensaje RNR (receptor no preparado) para suspender la transmisión de tramas. Las confirmaciones pueden "incorporarse" (piggybacking) en tramas de datos para mayor eficiencia.

**Control de Errores:** Mecanismos para la detección y corrección de errores (tramas perdidas o dañadas).

- **Técnicas Comunes:** Detección de errores (CRC), confirmaciones positivas (ACK), retransmisión por expiración de temporizador, y confirmación negativa (NACK/REJ) con retransmisión. Estos mecanismos se agrupan bajo "Solicitud de Repetición Automática" (ARQ).
  - **ARQ con parada y espera:** Basado en el control de flujo de parada y espera. Si la trama está dañada, el receptor la descarta y el emisor retransmite al expirar un temporizador. Si la confirmación se daña, el emisor también retransmite. Las tramas se etiquetan alternativamente con 0 o 1 para evitar duplicados. Es simple pero ineficiente.
  - **ARQ con vuelta atrás N (Go-Back-N):** Una extensión del control de flujo de ventana deslizante. Si se detecta un error en una trama, el destino envía un REJ y descarta esa trama y todas las subsiguientes. El origen retransmite la trama errónea y todas las que le siguieron. El emisor debe mantener una copia de todas las tramas no confirmadas. El tamaño máximo de la ventana está limitado a  $2^{(k-1)}$  para un campo de k bits en los números de secuencia, para evitar ambigüedades con las confirmaciones.
  - **ARQ con rechazo selectivo (Selective Reject):** Solo se retransmiten las tramas para las que se recibe una confirmación negativa (SREJ) o cuyo temporizador expira. El receptor sigue aceptando tramas y las almacena hasta que la trama errónea se recibe correctamente. Minimiza las retransmisiones pero requiere más memoria temporal y lógica compleja en el receptor y transmisor. Se usa menos que Go-Back-N, excepto en enlaces satelitales con alto retardo de propagación.

**Protocolo HDLC (High-Level Data Link Control):** Es un protocolo de control de enlace de datos ampliamente utilizado, base de otros protocolos. Define tres tipos de estaciones (primaria, secundaria, combinada), dos configuraciones de enlace (no balanceada, balanceada) y tres modos de operación para transferencia de datos (NRM, ABM, ARM). HDLC utiliza transmisión síncrona y un único formato de trama para datos e información de control. Las tramas HDLC tienen campos de delimitación, dirección, control, información y FCS (Frame Check Sequence). Utiliza "inserción de bits" (bit stuffing) para evitar que el patrón delimitador aparezca en el campo de datos. HDLC opera en tres fases: inicio, transferencia de datos y desconexión.

## **Capítulo 8: Normas de Comunicación LAN: Protocolo Ethernet**

Este capítulo se centra en el estándar IEEE 802, que desarrolla estándares para redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN). IEEE 802.3 es el estándar para Ethernet, la norma de comunicación más utilizada.

**1. Estándares IEEE 802:** El proyecto 802 define aspectos relacionados con el cableado físico y la transmisión de datos. Algunos grupos de trabajo destacados son:

- **IEEE 802.1:** Protocolos superiores de redes de área local, incluyendo 802.1X para control de admisión de red basado en puertos y autenticación.
- **IEEE 802.2 (Control de Enlace Lógico):** Define cómo los datos se transfieren sobre el medio físico, agrupando bits en tramas, gestionando errores de transmisión, regulando el flujo de tramas y administrando la capa de enlaces.
- **IEEE 802.3 (Ethernet):** El estándar más usado, originalmente CSMA/CD, ahora ampliamente referido como Ethernet.
- **IEEE 802.4 (Token Bus):** Bus de banda ancha (cable coaxial) que funciona lógicamente como un anillo.
- **IEEE 802.5 (Token Ring):** Define una red con topología de anillo que usa un "token" (paquete de datos) para transmitir información.
- **IEEE 802.11 (Wi-Fi):** Estándar para redes locales inalámbricas, definiendo las capas física y de enlace de datos para WLAN.
- **IEEE 802.15 (Bluetooth):** Desarrollo de estándares para redes inalámbricas de corta distancia (WPAN).
- **IEEE 802.16 (WiMAX):** Acceso inalámbrico de banda ancha, provee conectividad fija en áreas metropolitanas.
- **IEEE 802.1aq (SPB):** Reemplaza a 802.1D, 802.1w, 802.1s, ofreciendo prevención de bucles, tiempos de convergencia y restauración rápida.

**2. Ethernet Tradicional (10 Mbps)** Ethernet comenzó como un sistema experimental de 3 Mbps basado en bus, evolucionando a 10 Mbps y luego a conmutadores, con velocidades actuales de hasta 100 Gbps.

- **Control de Acceso al Medio IEEE 802.3 (CSMA/CD):** Técnica de acceso aleatorio o de contención.
  - **ALOHA:** Una estación transmite cuando lo necesita y escucha una confirmación. Si no la recibe, retransmite. Simple pero con baja utilización del canal (18%) debido a colisiones.
  - **ALOHA Ranurado:** El tiempo del canal se discretiza en ranuras de duración de una trama. La transmisión solo se permite al comienzo de una ranura, aumentando la utilización al 37%.
  - **CSMA (Carrier Sense Multiple Access):** Una estación escucha el medio antes de transmitir. Si está libre, transmite; si está ocupado, espera. Reduce las colisiones al ocurrir solo cuando varias estaciones intentan transmitir casi simultáneamente dentro del tiempo de propagación.
    - **CSMA no persistente:** Si el medio está ocupado, espera un tiempo aleatorio y reintenta. Reduce colisiones pero desaprovecha la capacidad.

- **CSMA 1-persistente:** Si el medio está ocupado, sigue escuchando y transmite inmediatamente cuando se libera. Puede generar colisiones si varias estaciones esperan al mismo tiempo.
  - **CSMA p-persistente:** Compromiso entre los anteriores. Transmite con probabilidad  $p$  si el medio está libre, o espera una unidad de tiempo con probabilidad  $(1-p)$ . Busca reducir colisiones y tiempos de desocupación.
- **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection):** Extiende CSMA al permitir que una estación detecte colisiones durante la transmisión. Si detecta una colisión, envía una señal de interferencia (jam signal) y detiene la transmisión, luego espera un tiempo aleatorio (backoff) antes de reintentar. Reduce el tiempo de desaprovechamiento del medio al tiempo necesario para detectar la colisión. Las tramas deben ser lo suficientemente largas para permitir la detección de colisiones antes de finalizar la transmisión. El algoritmo 1-persistente con "espera exponencial binaria" (binary exponential backoff) es utilizado en IEEE 802.3 y Ethernet para asegurar estabilidad y eficiencia en diferentes cargas.
- **Dominio de Colisiones:** Segmento físico de una red donde las tramas pueden colisionar (interferir).
- **Trama MAC:** El formato de trama 802.3/Ethernet incluye campos como Preámbulo (sincronización), SFD (delimitador de comienzo de trama), Dirección de Destino (DA), Dirección de Origen (SA), Longitud/Tipo, Datos LLC, Relleno (para detección de colisiones) y FCS (comprobación de redundancia cíclica).
  - **Dirección MAC:** Número de hardware único de 48 bits, globalmente único, integrado en la tarjeta de red. Los primeros 6 dígitos identifican al fabricante (OUI).
    - **Bit U/L (Universal vs. Local):** El segundo bit menos significativo del primer octeto indica si la dirección es administrada universalmente (0) o localmente (1).
    - **Bit I/G (Unicast vs. Multicast):** El bit menos significativo del primer octeto. Si es 0, es una dirección unicast (destino único). Si es 1, es una dirección multicast (múltiples receptores).
- **Especificaciones IEEE 802.3, 10 Mbps (Ethernet):** Utiliza una notación concisa <velocidad de transmisión en Mbps><método de señalización><longitud máxima del segmento en centenas de metros>.
  - **10BASE5:** Cable coaxial de 50 ohmios, señalización digital Manchester, segmento máximo de 500m, extendible hasta 2.5 km con repetidores.



- **10BASE2:** Similar a 10BASE5 pero con cable coaxial más fino y distancias más cortas (200m).
- **10BASE-T:** Par trenzado no apantallado en topología estrella, enlaces de hasta 100m. Alternativa de fibra óptica hasta 500m.
- **10BASE-F:** Fibra óptica, con opciones para estrella pasiva (hasta 1 km) y enlaces punto a punto (hasta 2 km).

### 3. LAN de Alta Velocidad:

- **Fast Ethernet (100 Mbps, 802.3u):** Proporciona redes LAN de bajo costo compatibles con Ethernet a 100 Mbps. Usa el protocolo MAC y el formato de trama IEEE 802.3.
  - **100BASE-X:** Opciones que usan especificaciones del medio físico de FDDI, con dos enlaces físicos (Tx/Rx). Utiliza pares trenzados apantallados (STP) o UTP categoría 5 (100BASE-TX) o fibra óptica (100BASE-FX). Usa codificación 4B/5B-NRZI.
  - **100BASE-T4:** Usa 4 pares de UTP categoría 3 o 5 para alcanzar 100 Mbps, dividiendo la secuencia de datos en tres a 33.3 Mbps. Usa codificación 8B6T.
  - **Funcionamiento Full-Duplex:** Permite transmitir y recibir simultáneamente. Requiere tarjetas adaptadoras full-duplex y un switch (no un hub), ya que las colisiones no se producen y CSMA/CD no es necesario.
- **Gigabit Ethernet (1 Gbps, 802.3z):** Estándar a 1000 Mbps. Mantiene el protocolo CSMA/CD y el formato de trama de sus predecesores, compatible con 100BASE-T y 10BASE-T.
  - **Mejoras en la capa de acceso al medio (para concentradores):**
    - **Extensión de la portadora:** Añade símbolos a tramas cortas para que la duración sea mayor que el tiempo de propagación a 1 Gbps (duración equivalente a 4096 bits).
    - **Ráfagas de tramas:** Permite la transmisión consecutiva de varias tramas cortas sin liberar el control de CSMA/CD, evitando la redundancia de la extensión de la portadora.
  - **Capa Física:** Define opciones como 1000BASE-SX (fibras multimodo de 62.5µm y 50µm), 1000BASE-LX (fibras multimodo y monomodo), 1000BASE-CX (cobre apantallado para distancias cortas) y 1000BASE-T (cuatro pares UTP categoría 5). Utiliza codificación 8B/10B (excepto 1000BASE-T que usa 4D-PAM5).

- **10 Gigabit Ethernet (10 Gbps, 802.3ae):** Impulsado por el aumento del tráfico de internet e intranets. Permite construir redes troncales locales de alta velocidad, interconectando conmutadores y ofreciendo enlaces de alta velocidad para ISP/NSP. Compite con ATM y otras tecnologías WAN. Ofrece ventajas al no requerir costosas conversiones entre paquetes Ethernet y celdas ATM, y al proporcionar QoS similar a ATM.
  - **Capa Física:** Siete tipos de medios para LAN, MAN y WAN. Opera exclusivamente en modo full-duplex con fibra óptica y cobre. Define opciones como 10GBASE-SR (corto alcance, multimodo), 10GBASE-CX4 (cobre, muy corto alcance), 10GBASE-LX4 (WDM, multi y monomodo), 10GBASE-LR (largo alcance, monomodo) y 10GBASE-ER (alcance extendido, monomodo). También variantes "WAN PHY" para operar con equipos SONET/SDH. 10GBASE-T (802.3an) usa UTP-6/7 hasta 100m con codificación PAM-16.
- **100 Gigabit Ethernet:** Impulsado por el crecimiento de centros de datos, proveedores de video/servicio y la necesidad de mayor capacidad en intercambios de Internet. IEEE 802.3ba (2010) especificó 40Gb/s y 100Gb/s.
  - **Distribución de Carriles Múltiples:** Utiliza múltiples canales paralelos (físicos o de frecuencia) para lograr altas velocidades de datos (40 y 100 Gbps). Los datos se codifican con 64B/66B y se distribuyen en carriles virtuales usando un esquema Round Robin.
  - **Capa Física:** Tres tipos de medios: cobre (backplane, twinaxial) y fibra óptica (4 o 10 carriles de longitud de onda). Nomenclatura: K (backplane), C (cobre de montaje), S (corto), L (largo), E (extendido largo), R (codificación 64B/66B), y número final para los carriles.
- **LAN de Muy Alta Velocidad (200 Gbps y 400 Gbps):** El estándar IEEE 802.3bs (2017) definió 200 Gbps y 400 Gbps Ethernet (TbE).
  - Utiliza una combinación de codificación PAM4 (modulación de amplitud de pulso de 4 niveles, codificando 2 bits por nivel de voltaje) y múltiples carriles paralelos, lo que duplica la cantidad de datos transmitidos en el mismo tiempo.
  - Cubre opciones de fibra óptica multimodo y monomodo (70m a 10km).
  - **Conectores:** Requiere nuevos conectores y cables. 400GBASE-SR16 usa 32 fibras; 400GBASE-DR4 usa conectores MPO de 12 fibras. El conector MPO de 32 fibras es nuevo y es incompatible con el de 12 fibras.
  - **Módulos SFP:** Han surgido nuevos factores de forma de transceptores ópticos como CFP8, OSFP, QSFP-DD y COBO.

**4. LAN Virtuales (VLAN, Virtual LAN)** Una VLAN es un subgrupo lógico dentro de una LAN, creado por software, que permite combinar estaciones y dispositivos de red en un solo dominio de difusión, independientemente de su ubicación física.

- **Ventajas:** Mejora el rendimiento (reduciendo el tráfico de broadcast/multicast), seguridad (aislamiento entre grupos), movilidad (agrupación de miembros afines) y menor costo (los switches son más económicos que los routers).
- **Definición de VLANs:** La pertenencia a una VLAN se puede definir por:
  - **Grupo de puertos:** Asignando cada puerto final de un switch a una VLAN específica.
  - **Dirección MAC:** Las VLANs basadas en direcciones MAC permiten que los dispositivos mantengan su pertenencia a la VLAN al moverse.
  - **Información de protocolo:** La pertenencia puede asignarse según la dirección IP o información de protocolos de capa superior.
- **Comunicación entre miembros:** La comunicación entre VLANs separadas requiere un enrutador, que puede ser un dispositivo separado o estar integrado en un switch LAN de capa 3.
- **Estándar IEEE 802.1Q:** Define el funcionamiento de VLAN en puentes/switches, insertando una etiqueta con un identificador de VLAN (VID) en cada trama que viaja entre switches (enlaces troncales) para identificar la VLAN a la que pertenece. La etiqueta 802.1Q (4 bytes) incluye un TPID (Tag Protocol ID, 0x8100 hex) y un TCI (Tag Control Information) con Prioridad de usuario (3 bits), CFI (Indicador de formato canónico, 1 bit) e Identificador de VLAN (12 bits), permitiendo hasta 4094 VLANs.

## Capítulo 9: LAN Inalámbricas (WLAN)

Este capítulo aborda las redes LAN inalámbricas, que utilizan el aire como medio de transmisión. Se han extendido como complemento a las redes cableadas, ofreciendo movilidad y cobertura en lugares difíciles de cablear.

### 1. Usos de LAN Inalámbricas:

- **Ampliación de Redes LAN Cableadas:** Permite extender una LAN existente en edificios grandes, históricos o pequeñas oficinas donde el cableado no es económico. Un Módulo de Control (CM) actúa como interfaz entre la LAN inalámbrica y la cableada.
  - **Celda Única:** Todos los sistemas finales inalámbricos están dentro del dominio de un único módulo de control.
  - **Celdas Múltiples:** Varios módulos de control interconectados por una LAN cableada, cada uno dando servicio a sistemas finales dentro de su rango.

- **Acceso Nómada:** Proporciona un enlace inalámbrico entre un switch LAN y un terminal de datos móvil (ej., notebook), permitiendo la conexión desde diferentes lugares.
- **Redes Ad Hoc:** Redes entre iguales (sin servidor central) establecidas temporalmente para necesidades inmediatas, sin infraestructura estacionaria.
- **Interconexión de Edificios:** Conectar LANs en edificios geográficamente separados.

**2. Requisitos de las LAN Inalámbricas:** Además de los requisitos típicos de una LAN (alta capacidad, cobertura, conectividad, difusión), las WLANs tienen necesidades específicas:

- **Rendimiento:** Uso eficiente del medio aéreo.
- **Número de Estaciones:** Soporte para cientos de estaciones usando múltiples celdas.
- **Conexión a la LAN Troncal:** Interconexión con LANs cableadas.
- **Área de Servicio:** Cobertura típica de 100 a 300 metros de diámetro.
- **Consumo de Batería:** Protocolos MAC que no requieran monitoreo constante para dispositivos móviles.
- **Robustez en la Transmisión y Seguridad:** Diseño para transmisiones fiables en entornos ruidosos y seguridad contra escuchas.
- **Funcionamiento de Redes Cercanas:** Mecanismos para evitar interferencias entre redes cercanas.
- **Funcionamiento sin Licencia:** Preferencia por operar en bandas de frecuencia no reguladas.
- **Trasposos/Itinerancias:** Permite a las estaciones móviles moverse entre celdas (roaming).
- **Configuración Dinámica:** Inserción, eliminación y traslado automático de sistemas finales sin afectar a otros usuarios.

**3. Tecnología de LAN Inalámbrica:** Las LANs inalámbricas se clasifican según la técnica de transmisión:

- **LAN de Infrarrojos (IR):** Limitada a una sola habitación, ya que la luz infrarroja no atraviesa muros. Ventajas: espectro ilimitado, no regulado, reflexión difusa, no atraviesa muros (seguridad y aislamiento), equipos de bajo costo. Desventaja: ruido por luz externa, limitando el alcance. Técnicas de transmisión: direccional (punto a punto, interconexión de edificios), omnidireccional (estación base en línea de vista, repetidor multipunto), y difusión (emisores enfocados a techo reflectante).

- **LAN de Espectro Expandido:** Las más usadas actualmente. Operan en bandas ISM (industria, ciencia y medicina) que no requieren licencia (ej. 2.4 GHz). Utilizan configuraciones de celdas múltiples con diferentes frecuencias para evitar interferencias. Topologías: concentrador (hub, ubicado en el techo, conectado a LAN cableada, controla acceso y traspasos automáticos) o entre pares (peer to peer, sin concentrador, para redes ad-hoc).
- **Microondas de Banda Estrecha:** Usan bandas de microondas relativamente estrechas. Pueden operar en bandas con licencia (garantizando ausencia de interferencias) o sin licencia (banda ISM 5.8 GHz).

**4. IEEE 802.11: Arquitectura y Servicios (WI-FI)** IEEE 802.11 es el estándar para WLAN, con constantes actualizaciones para diferentes frecuencias y tasas de datos.

- **Terminología:** Punto de Acceso (AP), Conjunto Básico de Servicios (BSS), Función de Coordinación, Sistema de Distribución (DS), Conjunto Extendido de Servicios (ESS), Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU), Unidad de Datos del Servicio MAC (MSDU), Estación.
- **Arquitectura:** El componente elemental es el BSS (estaciones que compiten por el mismo medio inalámbrico). Un BSS puede estar aislado o conectado a un Sistema Troncal de Distribución (DS) a través de un Punto de Acceso (AP) que actúa como puente. Un ESS consiste en dos o más BSS interconectados por un DS.
- **Servicios (9 en total):**
  - **Para soporte de MSDU:** Asociación, Disociación, Distribución, Integración, Entrega de MSDU, Reasociación.
    - **Distribución:** Servicio primario para intercambio de tramas MAC entre estaciones en diferentes BSS a través del DS.
    - **Integración:** Transferencia de datos entre una estación en una WLAN y otra en una LAN IEEE 802.x integrada con el DS.
  - **Relacionados con la Asociación:** Proporcionan información al servicio de distribución sobre la ubicación de las estaciones dentro del ESS.
    - **Movilidad (3 tipos):** Sin transición (estacionaria), Transición BSS (entre BSS en el mismo ESS), Transición ESS (entre BSS de diferentes ESS, puede interrumpir el servicio).
    - **Asociación:** Establece una asociación inicial entre una estación y un AP.
    - **Reasociación:** Transfiere una asociación de un AP a otro, permitiendo el roaming.

- **Disociación:** Notificación de que una asociación existente ya no es válida.
- **De Acceso y Privacidad:** Autenticación, Fin de la autenticación, Privacidad.
  - **Autenticación:** Establece la identidad de una estación. Es fundamental en entornos inalámbricos donde la conectividad se adquiere simplemente por la presencia de una antena.
  - **Privacidad:** Asegura que los contenidos de los mensajes no sean leídos por terceros, a menudo mediante cifrado.

**5. Control de Acceso al Medio en IEEE 802.11:** La capa MAC de 802.11 cubre la entrega confiable de datos, el control de acceso y la seguridad.

- **Entrega Confiable de Datos:** Para hacer frente a la falta de fiabilidad del medio inalámbrico, 802.11 incluye un protocolo de intercambio de tramas. Una estación que recibe una trama de datos devuelve una confirmación (ACK). Si la fuente no recibe el ACK, retransmite la trama. Para mayor fiabilidad, se puede usar un intercambio de cuatro tramas: Request To Send (RTS) del origen, Clear to Send (CTS) del destino, trama de datos y ACK. RTS/CTS alerta a las estaciones cercanas para evitar colisiones.
- **Control de Acceso:**
  - **Protocolos de Acceso Distribuido:** Decisiones de transmisión distribuidas entre las estaciones usando detección de portadora (CSMA). Apropiado para redes ad-hoc o tráfico de ráfagas.
  - **Protocolos de Acceso Centralizado:** Regulación de la transmisión por una autoridad central. Apropiado para configuraciones con estación base o requisitos de tiempo real/alta prioridad.

El estándar 802.11 propone **DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC)**, que combina un control de acceso distribuido con un control centralizado opcional.

- **Función de Coordinación Distribuida (DCF):** Usa un algoritmo CSMA simple. Una estación escucha el medio y transmite si está libre; si está ocupado, espera. No incluye detección de colisiones (CSMA/CD) por ser impráctico en redes inalámbricas. Incluye un conjunto de retardos llamados IFS (Espacio entre Tramas) para prioridades:
  - **SIFS (Short IFS):** El más pequeño, para respuestas inmediatas (ACK, CTS).
  - **PIFS (PCF IFS):** Tamaño medio, usado por el controlador central para sondeos.

- **DIFS (DCF IFS):** El más grande, retardo mínimo para tramas que compiten por el acceso al medio.
  - **Función de Coordinación Puntual (PCF):** Algoritmo MAC centralizado para ofrecer un servicio libre de contención. El coordinador puntual usa PIFS para adueñarse del medio y bloquear el tráfico asincrónico mientras emite sondeos. Se define un intervalo llamado "supertrama" para permitir periodos de contención asincrónica.
- **Trama MAC 802.11:** Formato general para todas las tramas de datos y control. Incluye campos como Control de trama (tipo, control, privacidad), ID de duración/conexión, Direcciones (fuente, destino, transmisora, receptora), Control de secuencia (número de fragmento, número de secuencia), Cuerpo de la trama (MSDU o fragmento), y Secuencia de comprobación de trama (FCS). Existen tramas de control (PS-Poll, RTS, CTS, Confirmación, Fin de periodo libre de contención), tramas de datos (con o sin datos de usuario, con o sin confirmaciones/sondeos) y tramas de gestión (para asociaciones y autenticación).
- **Seguridad:** Las redes inalámbricas son vulnerables a problemas de seguridad debido a la naturaleza del medio (aire).
  - **WEP (Wired Equivalent Privacy):** Sistema de cifrado inicial (IEEE 802.11) basado en RC4, usando una clave compartida y un vector de iniciación (IV). Es inseguro debido al tamaño pequeño de los IV, que pueden repetirse, facilitando ataques.
  - **WPA (Wi-Fi Protected Access):** Desarrollado para corregir las deficiencias de WEP, implementa gran parte de IEEE 802.11i. Mejora la encriptación con TKIP y utiliza un método de autenticación (EAP).
    - **Tipos de WPA:**
      - **WPA-Personal (WPA-PSK):** Usa una clave pre-compartida (8-63 caracteres). Simple para redes pequeñas/domésticas, seguridad aceptable. Debilidad: la clave compartida es susceptible a ataques de fuerza bruta/diccionario, especialmente durante el diálogo de autenticación.
      - **WPA-Enterprise (WPA-EAP):** Para redes corporativas. Usa un servidor de autenticación (ej., RADIUS) y el protocolo 802.1X/EAP para validar usuarios con credenciales o certificados digitales. Una vez validado, TKIP usa claves dinámicas.
    - **TKIP (Temporal Key Integrity Protocol):** Utilizado por WPA para mejorar el cifrado. Basado en RC4, pero combina una clave

temporal (128 bits) con la dirección MAC del cliente y un IV largo (16 octetos) para producir claves de cifrado, que cambian cada 10,000 paquetes. Soluciona el problema de reutilización de clave de WEP.

- **EAP (Extensible Authentication Protocol):** Utilizado por 802.1X para la autenticación de usuarios. Actúa como intermediario entre un solicitante y un motor de validación (ej., RADIUS), permitiendo que las credenciales se envíen a un sistema de validación en la red cableada (paquetes EAPOL).
- **AES (Advanced Encryption Standard):** Algoritmo de cifrado avanzado (blockcipher) considerado muy seguro, utilizado por gobiernos y bancos. Las versiones AES-128, AES-192 y AES-256 difieren en la longitud de la clave (128, 192 o 256 bits).

#### 6. Capa Física (IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad):

- **IEEE 802.11 (original):** Banda de 2.4 GHz e infrarrojos, 1 y 2 Mbps.
- **IEEE 802.11a:** Banda de 5 GHz, hasta 54 Mbps. Usa OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con múltiples subportadoras.
- **IEEE 802.11b:** Extensión de 802.11 DS-SS, 5.5 y 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Usa modulación CCK (Complementary Code Keying).
- **IEEE 802.11g:** Extensión de 802.11b a mayores velocidades, combinando técnicas de codificación de 802.11a y 802.11b.
- **IEEE 802.11n:** Diseñado para aumentar el rendimiento y la capacidad. Opera en 2.4 GHz y 5 GHz, compatible con a/b/g. Incorpora:
  - **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** Múltiples antenas en el transmisor y receptor para dividir y combinar el flujo de datos, mejorando la relación señal-ruido.
  - **Mejoras en la transmisión de radio:** Enlace de canales (combina dos canales de 20 MHz en uno de 40 MHz).
  - **Mejoras MAC:** Agregación de múltiples tramas MAC en un solo bloque para transmisión (A-MPDU), mejorando la eficiencia del canal.

#### 7. Gigabit WI-FI:

- **IEEE 802.11ac:** Opera en la banda de 5 GHz, evolución de 802.11n. Logra velocidades mucho más altas mediante:
  - **Ancho de banda:** Máximo de 160 MHz (frente a 40 MHz de 802.11n).



- **Codificación de señal:** 256 QAM con OFDM (frente a 64 QAM de 802.11n), codificando más bits por símbolo. Más sensible al ruido, efectivo a distancias más cortas.
  - **MIMO:** Hasta 8x8 (frente a 4x4 de 802.11n).
  - Incluye MU-MIMO (multi-usuario MIMO) para transmitir a múltiples estaciones simultáneamente.
  - Requiere que cada transmisión sea enviada como una trama agregada A-MPDU.
- **IEEE 802.11ad:** Opera en la banda de frecuencia de 60 GHz. Ofrece un ancho de banda de canal mucho más amplio (2160 MHz) para altas velocidades de datos. Menos interferencia. Características de propagación indeseables: mayor pérdida de energía en espacio libre, altas pérdidas por trayectos múltiples, no penetra objetos sólidos. Útil solo dentro de una habitación (ej. transmisión de video HD sin comprimir). Diseñado para operación de antena única (a diferencia de 802.11ac MIMO). Define cuatro esquemas de codificación y modulación de capa física: Control PHY (CPHY), Single Carrier PHY (SCPHY), OFDM PHY (OFDMPHY) y Low Power Single Carrier PHY (LPSCPHY).

## Capítulo 10: Conceptos de Cableado Estructurado

Este capítulo describe el cableado estructurado como un conjunto de elementos pasivos, flexible, genérico e independiente, diseñado para interconectar equipos activos de diversas tecnologías, integrando sistemas de voz, datos, video y otros.

### 1. Definición y Evolución:

- **Objetivo:** Cubrir las necesidades de los usuarios durante la vida útil del edificio sin necesidad de recableado.
- **Características:** Común e independiente de aplicaciones, documentado, proyectado a largo plazo (> 10 años).
- **Beneficios:** Administración y gestión de red sencillas, reducción drástica de fallas, excelente amortización de la inversión, flexibilidad para añadir puestos, y calidad asegurada por la certificación.
- **Evolución:** El cableado estructurado ha demostrado ser capaz de transportar múltiples señales de comunicación (voz, datos, video) debido a la estandarización y el "sobredimensionamiento" que permite soportar nuevas aplicaciones y velocidades. La tendencia "Todo sobre IP" facilita el uso de múltiples servicios sobre el mismo cableado.
- **Medios de Transmisión:** Los más comunes son los cables de pares trenzados de cobre y los cables de fibra óptica. El cable coaxial tiene poca participación en este sector, aunque es importante en conexiones de video.

- **Par Trenzado:** Ha evolucionado para transportar señales digitales de alta frecuencia. Los cables de Categoría 6A (Augmented Category 6) pueden usarse en redes de hasta 10 Gbps con un ancho de banda de 500 MHz, minimizando la interferencia (Alien Cross-Talk) con blindaje.
- **Fibra Óptica:** Idónea para periodos prolongados y mayores velocidades. La fibra multimodo OM4 puede transportar 100 Gbps hasta 150m. Son más robustas y flexibles. La conectividad ha evolucionado con conectores MPO (Multi-Fiber Push-On) para alta densidad y transmisión paralela (40/100 Gbps).

**2. Ambientes de Misión Crítica:** Centros de datos, hospitales e industrias requieren sistemas más confiables, disponibles y rápidos. Tienen normas específicas (TIA-942, TIA-1005, TIA-1179). El cableado es más robusto, usando Categoría 6A y fibras OM4, con rutas redundantes para evitar puntos únicos de falla.

### **3. Características de un Cableado Estructurado:**

- **Normas Estándar:** Regido por un conjunto de normas, incluyendo:
  - **EIA/TIA 568:** Cómo instalar el cableado (actualmente ANSI/TIA 568-D).
  - **EIA/TIA 569:** Cómo enrutar el cableado (actualmente ANSI/TIA/EIA-569-C).
  - Otras normas para infraestructura residencial, administración, puesta a tierra y planta externa.
- **Topología:** Permite definir una topología.
- **Medio de Transmisión:** Define el medio.
- **Distancias e Interfaces:** Especifica distancias e interfaces de conexión.
- **Requisitos de Desempeño:** Especifica los requisitos.
- **Configuración de Puestos:** La configuración de nuevos puestos se realiza desde un nodo central sin variar el resto.
- **Localización y Corrección de Averías:** Se simplifica por la detección centralizada.
- **Topologías Lógicas:** Permite configurar topologías lógicas (bus, anillo) sobre una topología física en estrella reconfigurando centralizadamente.

### **4. ANSI/TIA/EIA-568 (Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales):**

Especifica requisitos para un sistema integral de cableado, independiente de aplicaciones y proveedores, con una vida útil de 15 a 25 años. El estándar está dividido en varias partes, incluyendo una versión genérica (C.0), una para edificios comerciales (C.1), y especificaciones detalladas para cables de pares trenzados (C.2) y fibra óptica (C.3).

- **Componentes (568-D.0):** Subsistemas de cableado (del área de trabajo a distribuidores A, B, C), Distribuidores (A, B, C) y Equipo de salida (áreas de trabajo).
- **Componentes Funcionales (568-C.1):** Instalaciones de Entrada (acometidas), Distribuidores principales/secundarios (MDF/IDF), Distribución central de cableado (backbone), Distribuidores horizontales (HCC), Distribución horizontal de cableado y Áreas de trabajo.
  - **Instalaciones de Entrada:** Donde ingresan los servicios de telecomunicaciones y llegan las canalizaciones de interconexión con otros edificios (punto de demarcación).
  - **Distribuidores principales/secundarios:** Estructura jerárquica tipo estrella (no más de 2 niveles), donde llegan los cables de equipos comunes y se "cruzan" hacia los cables del backbone.
  - **Distribución central de cableado (Backbone):** Provee interconexión entre instalaciones de entrada, datacenters y cuartos de telecomunicaciones. Incluye cables montantes, repartidores y cordones de interconexión. Cables admitidos: UTP de 100 ohm, fibra óptica multimodo (50/125  $\mu\text{m}$  y 62.5/125  $\mu\text{m}$ ), fibra óptica monomodo, STP-A de 150 ohm (no recomendado para instalaciones nuevas). Coaxiales no admitidos.
  - **Distribuidores horizontales (HCC):** Ubicados en el cuarto de telecomunicaciones, terminan los cables montantes y los cables del área de trabajo, interconectándolos. Consisten en paneles de interconexión ("patcheras" o "regletas").
  - **Distribución horizontal de cableado:** Conecta las áreas de trabajo con los distribuidores horizontales. Incluye cables, conectores de telecomunicaciones en áreas de trabajo, terminaciones mecánicas y cordones de interconexión ("patchcords"). La distancia máxima es de 90m para el cable horizontal, y los patchcords (área de trabajo y armario) no deben superar los 10m en conjunto. Cables reconocidos: UTP o ScTP de 100  $\Omega$  y cuatro pares, fibra óptica multimodo.
  - **Áreas de Trabajo:** Incluyen conectores de telecomunicaciones (RJ45 para UTP, conectores dobles para fibra) y patchcords hasta el equipo. Los conectores UTP (RJ45) admiten conexiones T568A y T568B. Tipos de conectores de fibra óptica: FC, ST, LC, SC.
- **Novedades de ANSI/TIA/EIA 568-D (respecto a 568-C):** Requiere cableado Categoría 5e o superior para par trenzado, OM3 o superior para fibra multimodo. Recuento mínimo de fibra de 2 por puerto/canal. Agrega coaxial de banda ancha como medio reconocido. Radio de curvatura interior mínimo para par trenzado (4 veces el diámetro) y fibra óptica (25mm).

**5. ANSI/TIA/EIA-569 (Espacios y canalizaciones para telecomunicaciones):** Provee especificaciones para el diseño de instalaciones e infraestructura edilicia para el cableado de telecomunicaciones en edificios comerciales (ahora genérica). Reconoce la naturaleza dinámica de los edificios y sistemas de telecomunicaciones, y la ampliación del concepto de telecomunicaciones a otros sistemas (control ambiental, seguridad, audio, etc.).

- **Componentes de la infraestructura edilicia:** Instalaciones de Entrada, Sala de Equipos, Canalizaciones de Montantes (Back-bone), Cuarto de Telecomunicaciones, Canalizaciones horizontales, Áreas de trabajo.
- **Canalizaciones Horizontales:** Rutas para distribuir cables de señales débiles (datos, voz, video, control de acceso, alarma e incendio). Incluyen: ducto bajo piso, piso falso, tubo conduit (máx. 30m sin caja de inspección, 2 ángulos de 90 grados), bandeja para cable, rutas de techo falso, rutas perimetrales (ductos de superficie, empotrados, molduras, multicanal).
- **Canalizaciones Verticales:** Rutas dentro y entre edificios. Dentro del edificio: tubería conduit, mangas y ranuras, conectando la entrada de servicios a los cuartos de telecomunicaciones (evitar cubos de elevadores, usar bloqueos contra fuego). Entre edificios (campus): subterráneos (ductos con cámaras de inspección), directamente enterrados (con protecciones), aéreos, túneles.

**6. Certificación:** Proceso de medición e inspección de los enlaces instalados y revisión de procedimientos, emitiendo un certificado de adecuación a las normas. Puede ser realizada por recursos internos, proveedores o fabricantes. La certificación del fabricante suele ofrecer garantías extendidas. Se realizan ensayos de cada enlace con equipos que miden los parámetros según la categoría del cable. La certificación es un documento que "certifica" el cumplimiento de las recomendaciones.

**7. Etiquetado (TIA/EIA 606-A):** Absolutamente necesario para documentar los componentes y facilitar el mantenimiento y la búsqueda de averías. TIA/EIA 606-A fija reglas precisas para el etiquetado, distinguiendo entre cuatro clases según las dimensiones de la infraestructura:

- **Clase 1:** Edificio único, un cuarto de telecomunicaciones. Etiquetar enlaces de cableado horizontal y barra principal de puesta a tierra.
- **Clase 2:** Edificio único, varias plantas, varios cuartos de telecomunicaciones. Etiquetar lo de Clase 1 más cables de backbone y elementos de conexión/puesta a tierra.
- **Clase 3:** Sistemas de campus (varios edificios, backbone entre edificios). Etiquetar lo de Clase 2 más edificios y cableado de backbone de campus.
- **Clase 4:** Unión de varios sistemas de campus. Etiquetar lo de Clase 3 más los diferentes sitios del sistema y se recomienda identificar el cableado inter-campus (MAN/WAN). El significado de la etiqueta puede indicar planta, rack,

panel de parcheo y toma, y el edificio en el caso de clase 3. Se muestran ejemplos de etiquetado en el cuarto de telecomunicaciones y áreas de trabajo.