

Trabajo Práctico N°3 – Resultados y Conceptos Clave

Ejercicio 1 – Pliego de medios para el parque industrial

Es un ejercicio de decisión de diseño, no de resultado numérico único. Recomendación esperada por tramo:

- Oficina↔Planta (80 m, bandeja compartida con alimentación): la distancia entra en el límite del par trenzado (100 m), pero el motivo técnico determinante es la EMI de la bandeja compartida con alimentación de maquinaria → par trenzado apantallado (STP/FTP) como mínimo, o fibra si el presupuesto lo permite.
- Planta↔Depósito (1,2 km, sin zanjas en tramo final, con línea de vista): excede el alcance de cobre/coaxial sin repetidores → fibra óptica (monomodo), en tendido aéreo ya que no se puede zanzar; la línea de vista habilita la alternativa inalámbrica que se compara en (b).
- Puestos oficina (<40 m, 60 puestos, tráfico administrativo): UTP Cat5e/6, solución estándar y económica, sin blindaje al no haber EMI relevante.
- Puestos taller (<50 m, 12 puestos, variadores de frecuencia): par trenzado apantallado (STP/FTP) por la EMI de los variadores; fibra sería sobredimensionar para solo 12 puestos.
- Líneas abiertas: descartadas en todos los tramos (tecnología obsoleta, alta atenuación y susceptibilidad a interferencia).

b) Fibra vs. inalámbrico (Planta↔Depósito), comparar en: inmunidad a EMI (fibra inmune por ser dieléctrica; inalámbrico expuesto a otras fuentes RF), seguridad de la información (fibra más difícil de interceptar sin acceso físico; inalámbrico más vulnerable a interceptación pasiva, mitigable con cifrado), disponibilidad ante tormentas (fibra no depende del clima; microondas puede sufrir desvanecimiento por lluvia intensa), distancia (1,2 km es corta para ambas) y costo (inalámbrico evita obra civil pero suma equipos activos y mantenimiento; fibra requiere tendido, viable en forma aérea pese a la restricción de zanjas). Se puede priorizar fibra por seguridad y disponibilidad en un entorno industrial; cambiaría de opinión si el tendido aéreo no fuera viable y la aplicación no fuera crítica en seguridad.

c) Antecedentes de obra:

pertinencia:

10BASE-T (par trenzado) → pertinente;

DOCSIS (coaxial/HFC) → poco pertinente para este pliego;

enlace de microondas punto a punto → pertinente si se opta por la alternativa inalámbrica;

FTTH (fibra) → pertinente;

bus CAN en automoción → no pertinente (red de control vehicular de bajo alcance, requisitos y entorno completamente distintos pese al parecido del cableado).

No todos pertenecen a la misma familia de medios: hay que evaluarlos por tecnología, no por parecido superficial.

d) Por qué se desplazó el coaxial: el par trenzado (topología en estrella, más tolerante a fallas puntuales) y la fibra (mayor ancho de banda, inmunidad a EMI, mayor alcance) resultan más económicos de instalar/mantener y escalan mejor a velocidades Gigabit que el coaxial en bus. Tendría sentido conservarlo solo para el servicio puntual para el que ya está instalado (p. ej. distribución de video/CCTV analógico), no para la red de datos general.

Ejercicio 2 – Auditoría de red (oficina/taller)

Resultados numéricos

d) Factor de velocidad: $\approx 0,67$ (a partir de $\epsilon_r=2,25$), consistente con el 0,66 declarado por el fabricante.

Longitud de onda dentro del cable: $\approx 1,98$ m (para λ en vacío = 3 m)

Tiempo de retardo del coaxial en 100 m: ≈ 505 ns ($\sim 0,5$ μ s), es del orden del microsegundo (el técnico tiene razón), y esto es ~ 2000 veces menor que la latencia típica de una LAN (~ 1 ms): confirma que la latencia de la red no viene del retardo de propagación del cable, sino de otro lado (conmutación, procesamiento, protocolo).

e) Coeficiente de reflexión: $\Gamma \approx -0,143$ y ROE (VSWR): $\approx 1,33$

Hilo de razonamiento

a) Al menos 3 causas raíz: (1) EMI de los variadores de frecuencia acoplada a los cables que comparten bandeja con su alimentación (evidencia directa del relevamiento); (2) diafonía entre cables UTP muy próximos entre sí y a los conductores de potencia en la misma bandeja; (3) categoría insuficiente (Cat5e cumple 1 Gbps a 60 m en condiciones ideales, pero tiene poco margen de ruido frente a un entorno con EMI, a diferencia de la oficina donde el mismo cableado funciona bien por ausencia de esas fuentes). Los puestos que fallan son siempre los mismos porque son los tramos físicamente más expuestos a esas fuentes de ruido.

b) Oficina: UTP sin blindaje (sin EMI relevante). Taller: cable apantallado (STP/FTP/S-FTP) por la EMI de los variadores. Requisito adicional: puesta a tierra correcta y continua del blindaje, si se omite, el blindaje puede actuar como antena y empeorar el acoplamiento de ruido en vez de mejorarlo.

c) El Cat5e cumple formalmente IEEE 802.3ab para 1000BASE-T a 60 m, pero su margen de ruido es mucho menor que el de Cat6; en un entorno con EMI como el taller, esa falta de margen es la que produce errores/pérdida de paquetes y renegociación de velocidad. Se recomienda *upgrade* a Cat6 (idealmente apantallado) en el taller.

e) La desadaptación genera reflexiones (ondas estacionarias) que degradan la integridad de una señal digital de alta velocidad (*ringing*, cierre del diagrama de ojo). Es un defecto real pero moderado (ROE=1,33, solo $\sim 2\%$ de la potencia se refleja) y de corrección rápida y económica (reemplazar los adaptadores improvisados por conectores de impedancia correcta): conviene resolverlo cuanto antes,

en paralelo o incluso antes del recableado del taller, que es una obra más grande y de mayor costo/tiempo.

Ejercicio 3 – Enlace de fibra (5 km y 2 km)

Resultados numéricos

a) Potencia recibida a 5 km: ≈ -5 dBm (vs. sensibilidad mínima de -20 dBm) $\rightarrow$ margen de $+15$ dB $\rightarrow$ el enlace SÍ funciona con la fibra en stock (no faltan dB)

b) Ancho de banda disponible a 2 km: ≈ 300 MHz ($600 \text{ MHz} \cdot \text{km} \div 2 \text{ km}$)

c) Ancho de banda disponible a 5 km, para contraste: ≈ 120 MHz ($600 \text{ MHz} \cdot \text{km} \div 5 \text{ km}$), mucho más restrictivo

Hilo de razonamiento

b) Con 300 MHz a 2 km: *streaming*, respaldo nocturno y video 4K (decenas de Mbps cada uno) quedan cómodamente cubiertos; *backbone* del campus es más ajustado (alcanza para Ethernet Gigabit pero sin margen para crecer a 10G+); realidad virtual/aumentada es la aplicación más comprometida (exige alta tasa sostenida y muy baja latencia, que este ancho de banda no garantiza con holgura).

c) El stock es multimodo: el mecanismo que realmente limita ambos enlaces es la dispersión modal (reduce el ancho de banda disponible al crecer la distancia), no la atenuación (el presupuesto de potencia da margen incluso a 5 km). Se ve claramente en que a 5 km el ancho de banda cae a solo 120 MHz, insuficiente para tráfico moderno, pese a que el enlace "funciona" en potencia. Diferenciar tipos de fibra: por perfil de índice (escalonado vs. gradual, que reduce la dispersión modal) y por modo de propagación (multimodo, con dispersión modal relevante, vs. monomodo, sin ella, apto para mayor ancho de banda y distancia).

d) Recomendación: usar el stock multimodo para el tramo de 2 km (aceptable para *streaming/backup/4K*, con reservas para *backbone/VR-AR* a futuro); para el tramo de 5 km, comprar fibra monomodo, ya que el multimodo en stock queda con un ancho de banda insuficiente (120 MHz) por dispersión modal, aunque su presupuesto de potencia sea suficiente.

Resumen de lecciones aprendidas

- Elegir un medio de transmisión no depende solo de la distancia: hay que sopesar inmunidad a EMI, seguridad, disponibilidad y costo total (no solo instalación).
- Un antecedente de obra solo es experiencia aplicable si usa el mismo medio de transmisión y enfrenta requisitos comparables; no alcanza con que "parezca" cableado similar.
- El coaxial fue desplazado por costo, tolerancia a fallas y escalabilidad, no porque sea técnicamente inservible: sigue teniendo sentido en aplicaciones puntuales ya instaladas.
- El factor de velocidad y el retardo de propagación de un cable casi nunca explican la latencia percibida de una red: esa latencia suele originarse en *switches*, protocolos y colas, no en el medio físico.
- Una desadaptación de impedancia (Γ , ROE) degrada la señal aunque el cable en sí esté en buen estado, es un defecto de terminación, no del medio.
- En un enlace de fibra óptica, la potencia recibida y el ancho de banda disponible dependen de mecanismos físicos distintos (atenuación en un caso, dispersión en el otro) y deben evaluarse como dos presupuestos independientes: verificar uno no exime de verificar el otro.
- La fibra multimodo pierde ancho de banda a medida que aumenta la distancia (dispersión modal); para tramos largos de alta capacidad conviene monomodo.