



Estándares de Calidad (Confiabilidad)

Capítulo 3

*Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe*

2007

Estándares de Calidad

- Se debe tener claro los objetivos del diseño
- Trata de predecir la calidad que se puede esperar para un determinado diseño de enlace.
- Se guían bastante en los estándares de calidad desarrollados por la UIT-R (ITU) aplicados a las radiocomunicaciones.

La UIT

- UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU International Telecommunications Union)
- Tiene dos agencias:
 - UIT-R agencia de radiocomunicaciones
 - UIT-T agencia de telecomunicaciones
- Sede en ginebra y elabora recomendaciones para los usuarios

Objetivos del UIT-R

- “...Asegurar un uso del espectro racional, equitativo, eficiente y económico para todos los servicios,
- ... *Efectuar y adoptar Recomendaciones sobre asuntos de radiocomunicación*”
- Reemplaza al CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones) desde 1993.

Recomendaciones UIT-R

- > 900 Recomendaciones en 16 series
- “Estándares” en áreas of administración del espectro y tecnología de radio
- Resultado del consenso en reuniones mundiales de expertos
- Usados por planificadores del espectro y diseñadores de sistemas

Objetivo de la calidad

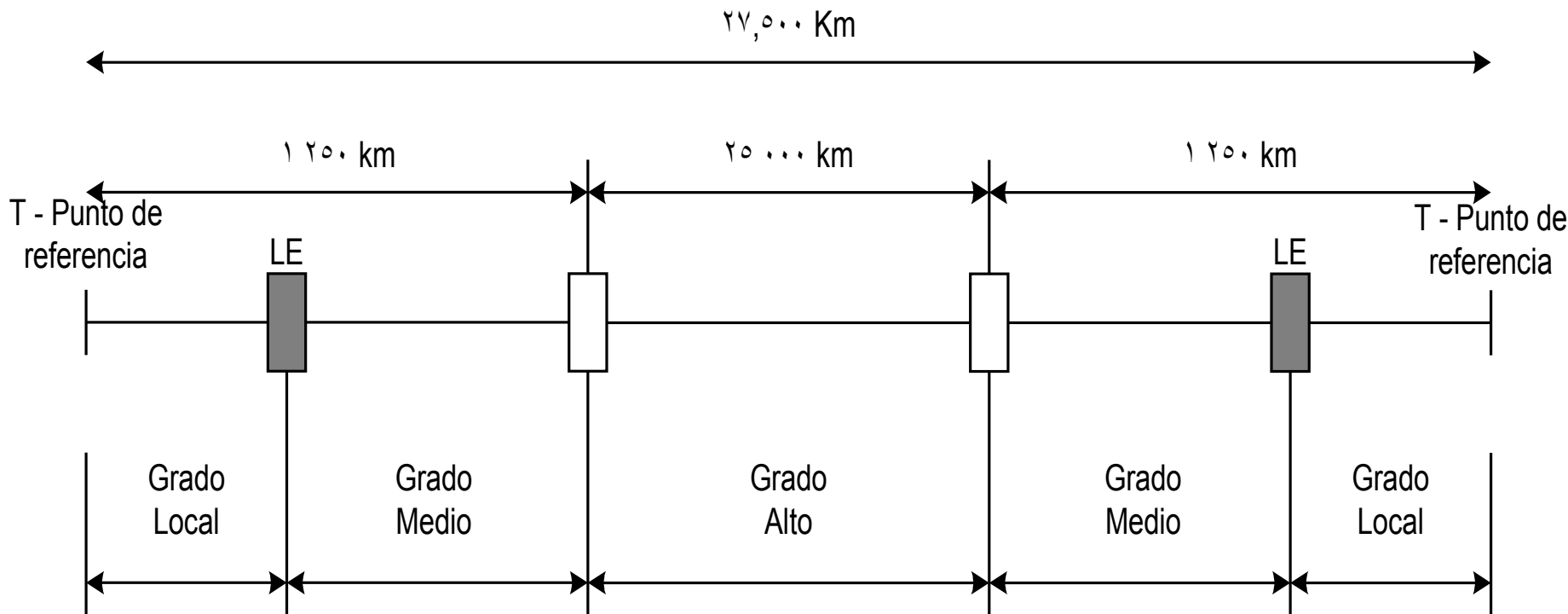
- Los operadores quieren que sus sistemas operen al 100% libres de errores.
- Imposible de alcanzar en el mundo real.
- Se trabaja con los estándares de la UIT-R como referencia, aunque estén escritos para enlaces internacionales.
- Deben aplicarse con cuidado para rutas más pequeñas (nacionales o regionales)

- Uno realmente debe entender claramente que niveles de calidad se están tratando de alcanzar de manera de aplicarlos atinadamente
- Se trata de proporcionar una guía práctica que permita aplicar esos estándares para encontrar un punto de equilibrio con los requerimientos de calidad del operador

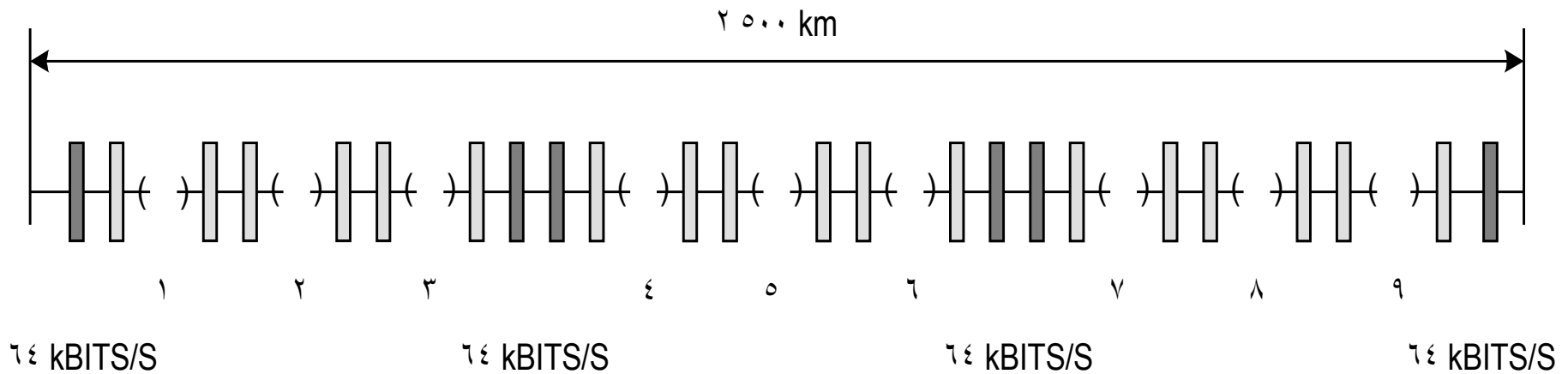
Ruta Hipotética de Referencia

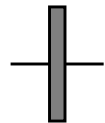
- Proporciona consejo para un circuito típico de conexión que luego puede ser aplicado a una conexión real.
 - La UIT-T especifica una longitud de 27,500 Km “internacional” con 3 grados de calidad
 - La UIT-R lo mismo pero que los radio enlaces sean del orden de 2,500 Km con nueve secciones de aprox. 280 Km cada una.

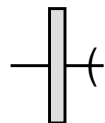
Conexión Hipotética de Referencia. UIT G.821



Ruta Hipotética de Referencia para sistemas repetidores de radio. UIT – R



 Equipo Multiplexor Digital de Primer Orden

 Otro Equipo Multiplexor. Recomendación de Niveles de Jerarquía CCITT

 Sección de Radio Digital

- La CCIR dividió las interrupciones en:
 - > 10 seg (Prolongadas o de NO disponibilidad) incluye periodos de tiempo con BER > 10^{-3}
 - < 10 seg (Cortas definido como disponible, aunque no es utilizable por el usuario durante estos periodos) aunque suman para efectos del calculo de la confiabilidad.
- La UIT-R las ha mantenido.
 - Las interrupciones largas pueden reducirse usando circuitos alternos (re-enrutamiento)

Estándares de NO Disponibilidad

- Por 10 o más segundos consecutivos:
 - Señal digital interrumpida (pérdida del alineamiento o sincronización)
 - BER > 10^{-3} en cada segundo, considerado dentro del tiempo de no disponible
- Termina cuando para ambas direcciones de transmisión, o la señal se restaura o el BER es mejor que 10^{-3} (más pequeño)

Causas de NO Disponibilidad

- Propagación
 - Pérdida por difracción
 - Entubamiento (ducting) de la señal de RF
 - Lluvia
- Falla de Equipos
- Otros
 - Fallas catastróficas, incendios o caída de la torre

Propagación

- Las interrupciones relacionadas a la propagación mayores a 10 seg son debidas a:
 - Pérdida por difracción
 - Entubamiento (Ducting)
 - Lluvia
- Los desvanecimientos (fadings) por multi-trayecto no están incluidos (son < 10 seg.)

Pérdida por difracción

- Causados por desvanecimientos atmosféricos dominantes.
- Hay que tener mucho cuidado para la instalación de las antenas, con altura insuficiente puede ocurrir pérdida de señal.
- Ocurre cuando una parte del frente de onda total es interrumpida por un obstáculo

Entubamiento (Ducting)

- Ocurre cuando la curvatura del haz, excede la curvatura de la tierra, llegando a interrupciones totales (outages) que pueden durar varias horas.
- Afortunadamente las áreas geográficas con alto riesgo de falla por ducting están bien documentadas. (Se conoce cuales son)
- Se reduce su efecto usando diversidad de espacio con antenas grandes.

Lluvia

- La interrupción de la señal es proporcional a la tasa de lluvia en la región, no depende del promedio.
- Las moléculas de agua absorben la energía de las microondas en forma de calor.
- A mayor tamaño de gotas mayor atenuación.
- La niebla causa menor atenuación que una lluvia fuerte

- La nieve o lluvia no debe depositarse sobre las antenas, o la atenuación será mayor.
- Las antenas usan cobertores (radomes) para protección.
- La atenuación es de tipo plano.
- Se mejora usando grandes antenas.
- La polarización vertical ayuda mucho y tiene menos atenuación de la horizontal.
- La atenuación por lluvia aumenta con la frecuencia (más crítico a 10 GHz o más)

Equipos

- **MTBF: Mean Time Before Failure** (tiempo medio antes de la falla)
- **MTTR: Mean Time To Restore** (tiempo medio para reposición)
- Disponibilidad (A)

$$A = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100\%$$

$$MTBF_{(\text{Enlace})} = \frac{MTBF_{(\text{Terminal})}}{\gamma}$$

- **No Disponibilidad del enlace (U)**

$$U = (100 - A) \%$$

- Para aplicaciones de alta calidad los equipos deben estar protegidos (con respaldo o backup)

Objetivos de NO Disponibilidad

- Según recomendación G.821 de UIT-R
 - Grado Alto
 - Grado Medio
 - Grado Local
- Para un circuito hipotético de referencia de 27,500 Km, de los cuales 25,000 Km son considerados de grado alto y 2,500 Km (1,250 a cada lado) entre grado medio y grado local

Grado Alto

- La parte de la columna vertebral (backbone) se diseña para este grado.
- La disponibilidad (A) con una longitud L de enlace entre 280 Km y 2,500 Km deberá ser:

$$A = 100 - \left(\frac{0.3 \times L}{2000} \right) \%$$

Grado Medio

- El diseñador decidirá la importancia relativa del enlace para determinar cual grado aplicar
- La no disponibilidad está dada en función a 4 clases de calidad definidos para un circuito de este tipo, la longitud varía con cada clase: 280 Km para las clases 1 y 2, 50 Km para las clases 3 y 4

Tabla 3.1 - Clasificación de Calidad para el Grado medio

Clase de Calidad	No Disponibilidad (%)
Clase 1	0,033 %
Clase 2	0,05 %
Clase 3	0,05 %
Clase 4	0,1 %

Grado Local

- Definido por la UIT como el nivel de calidad para el circuito de abonado (podría decirse “*la última milla*”).
- Ejemplos:
 - Topología punto a multipunto de baja capacidad.
 - Redes de enlaces para celulares
- El grado de presunción va de 0.01 a 0.25%

Prorrateo de Objetivos

- Los objetivos totales de no disponibilidad de 0,3% (alto grado) deben ser prorrateados entre las tres principales categorías de desconexión: propagación, equipos, y otros.
- Una aproximación es un igual prorrateo, sería:
 - Propagación (difracción, lluvia, “ducting”) : 0,1 %
 - Equipos (MTBF y MTTR): 0,1 %
 - Otros (Mantenimiento y fallas por catástrofes, etc.): 0,1 %

Consejos Prácticos

- La práctica en la industria ha interpretado los objetivos como sigue:
 - Lluvia: disponibilidad del enlace de 99,99 %.
 - Difracción: un valor mínimo de k especificado para 99,99 % (no disponibilidad de 0,01 %).
 - Ducting : ignorado excepto en áreas de alto riesgo.

- En cuanto a equipos para disponibilidad de alto grado (99.9% con 2,500 Km) los sistemas deben ser de hot-standby (equipo de reserva en caliente) o diversidad en la ruta.
- En las otras clasificaciones el objetivo de 99.9% no es real, sobre todo con frecuencias de enlace altos (por ejemplo 13 GHz)

Estándares de Rendimiento

- La medida del promedio del BER no es lo más adecuado porque cualquier ráfaga con gran cantidad de errores distorsionará los resultados.
- Los objetivos modernos de rendimientos (G.821 y G.826) proponen la exclusión de las ráfagas con gran cantidad de errores y definir los objetivos de rendimiento sólo en periodos cuando el sistema está disponible

- Estos objetivos de rendimiento consideran una sola dirección de transmisión y se consideran para periodos de un mes
- Los objetivos de disponibilidad, son considerados para ambas direcciones y con medición anual

Causas de Interrupción

- Las interrupciones cortas que afectan el rendimiento de un sistema son principalmente causadas por tres motivos:
 1. Efectos de desvanecimiento por multitrayecto
 2. Errores internos en el equipo
 3. Viento

Efectos de desvanecimiento por multitrayecto

- La refracción del haz causa trayectos múltiples sobre el enlace, resultando en:
 - la interrupción por desvanecimiento plano (Desvanecimiento de Raleigh) en sistemas de banda estrecha
 - Interrupción por desvanecimiento selectivo en sistemas de banda ancha.

- El mayor desafío en el diseño del enlace es predecir la cantidad de desvanecimiento por esta causa que pueda ocurrir.
- Para corregir se emplean técnicas avanzadas como las de ecualización adaptativa.

Errores internos en el equipo

- El ruido térmico origina errores de goteo (*dribble errors*).
- Se emplean sistemas de corrección de errores en adelante (**FEC**: **F**orward **E**rror **C**orrection)

Viento

- A menudo es inadvertido.
- Si la torre no es lo suficientemente fuerte se moverá por efecto del viento, produciéndose oscilaciones y curvatura de la misma; pudiendo ocurrir interrupciones.
- En zonas arenosas, las tormentas de polvo pueden causar interrupciones.

Objetivos de Rendimiento

- Objetivos de la recomendación G.821. Los objetivos de rendimiento están referidos a las siguientes definiciones:
 - Segundos con error (**ES**): cualquier período de 1 segundo en el cual al menos ocurre un error
 - Segundos con muchos errores (**SES**): un período de 1 segundo en el cual el BER es mayor que 10^{-3}
 - Minutos degradados (**DM**): un período de 60 períodos de 1 segundo, excluyendo cualquier SES, en el cual el BER es mayor que 10^{-6} . Este período no es necesariamente continuo.

Grado Alto

- De longitud entre 280 Km y 2,500 Km, los criterios de rendimiento son:
 - $BER \geq 10^{-3}$ para no más que $(0,054 \times L / 2500)\%$ del peor mes
 - $BER \geq 10^{-6}$ para no más que $(0,4 \times L / 2500)\%$ del peor mes
 - ES (64 Kbps) para no más que $(0,32 \times L / 2500)\%$ del peor mes

Tabla 3.2 - Objetivos Grado Medio

Parámetros de Rendimiento	Clase 1 (280 Km)	Clase 2 (280 Km)	Clase 3 (50 Km)	Clase 4 (50 Km)
BER > 1 x 10⁻³	0,006	0,0075	0,002	0,005
BER > 1 x 10⁻⁶	0,045	0,2	0,2	0,5
ES	0,036	0,16	0,16	0,4

Grado Local

- Para cada dirección de un canal de 64 Kbps los objetivos de rendimiento son definidos como:
 - BER $\geq 10^{-3}$ para no más que 0,015% del peor mes
 - BER $\geq 10^{-6}$ para no más que 1,5% del peor mes (medido en 1 minuto)
 - ES para no más que 1,2% del peor mes

Prorrrateo de objetivos

- Los objetivos de la UIT – T especificados en estándares tales como G.821 y G.826 están especificados para conexiones internacionales sobre un circuito de referencia de 27,500 Km.
- Es clara la importancia para el diseñador de la red que planifica una ruta de enlace de radio de unos pocos cientos de kilómetros conocer el estándar de ...

- ...diseño de tal manera que si dicho enlace forma parte de un circuito internacional, la conexión total cumple los objetivos. Si el circuito no forma parte de tal larga conexión internacional, puede asumirse que los objetivos son los de una red pequeña.
- El estándar actual usado en la práctica es un compromiso entre la convergencia de objetivos razonablemente prorrateados y alcanzar el nivel de calidad deseado usando radio-enlaces

- La UIT – T ha proporcionado los tres objetivos
 - SES = 0,2 %,
 - DM = 10 %, y
 - ES = 8 %, sobre 27,500 Km a través de los tres grados de calidad discutidos anteriormente.
- La porción de alto grado asumida en 25,000 Km se le asigna el 40% de los objetivos totales, el 60% se divide (15% en las porciones de grado medio y local para cada extremo)

- Los objetivos de la UIT-R asumen longitud referencial de 2,500 Km, con ello se consiguen un décimo de los objetivos de la UIT-T.
- El prorrateo del SES es un poco más complicado porque los objetivos de 0.2% sobre 27,500 Km son divididos en dos objetivos de 0.1%, uno para los equipos y el otro para los efectos del desvanecimiento, la porción de alto grado se le asigna el 40% de los objetivos totales del equipamiento.

Consejos Prácticos

- Los objetivos de la UIT-R para circuitos de 2,500 Km basados en G.821 son:
 - SES = 0.054%
 - DM = 0.4%
 - ES = 0.32%
- En una ruta real el SES es dominante, por lo que este objetivo debería ser considerado en la determinación del tamaño de las antenas.

- En resumen, el objetivo práctico clave para el diseño es:
 - Interrupción (10-3) $< 0,054 \times L \text{ (Km)} / 2,500 \%$ (del peor mes)
 - Un enlace de dos saltos de 50 Km por salto debería ser:
 - Interrupción $< 0,054 \% \times (50 + 50) / 2,500 = 0,00216 \%$ (del peor mes)
 - Asumiendo que un mes tiene 2'678,400 segundos (31 días \times 24 horas \times 60 minutos \times 60 segundos) significa que la desconexión en el peor mes debe ser menor que: 29 segundos

Recomendación G.826

- G.821 es inadecuado para servicio de datos de alta capacidad.
- G.826 especifica un bloque de bits para análisis que pueden ser significativamente menores que 1 seg.
- Especifica también el tipo de sistema en lugar del tipo de circuito
- No hay DM en el G.826

Definiciones del G.826

- *Tasa de bloques errados (EBR: Errored Block Ratio)*: un bloque en el cual uno o más bits están errados, y la medida del bloque es especificado separadamente para cada sistema considerado.
- *Tasa de segundos errados (ESR: Errored Second Ratio)*: un período de 1 segundo que contiene uno o más bloques errados.

- Tasa de segundos con muchos errores (**SESR** *Severely Errored Second Ratio*): Período de un 1 segundo que contiene mas del 30 % de bloques errados o al menos un período severamente perturbados (**SDP** *Severely Disturbed Period*), por ejemplo cuando ha ocurrido una pérdida de apuntamiento en una de las antenas del enlace.
- Errores de fondo de bloque (**BBE** *Background Block Error*): un bloque errado que no ocurre como parte de un SES

Tabla 3.3 – Objetivos G.826

Tasa (Mbits/s)	1,5 – 5	>5 – 15	> 15 – 55	< 55 – 160
Bits /blo que	2 000 – 8 000	2 000 – 8 000	4 000 – 20 000	15 000 – 30 000
ESR	0,04	0,05	0,075	0,16
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002
BBE	3×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

Prorrateso G.826

- La metodología del prorrateso divide el circuito total en porciones nacional e internacional.
- Los dos factores bajo el control de los operadores son la tasa de otorgamiento de bloques BR y la decisión acerca si uno está operando como país terminal o intermedio, lo cual a su vez determina el factor de otorgamiento de bloques B_L

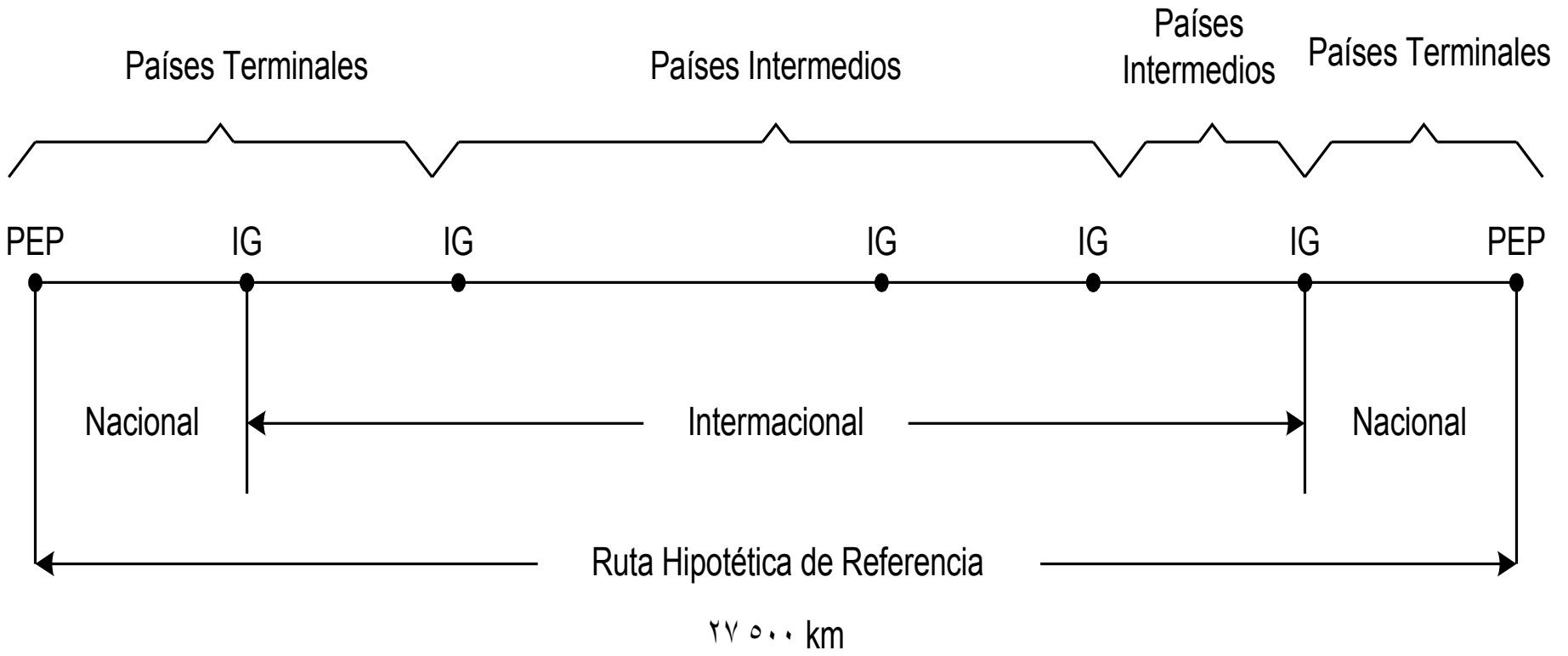


Tabla 3.4 - Objetivos del Radio-Enlace Porción Internacional

Tasa (Mbits/s)	1,5 – 5	>5 – 15	> 15 – 55	< 55 – 160
ESR	0,04 (FL+BL)	0,05(FL+BL)	0,075(FL+BL)	0,16(FL+BL)
SESR	0,002(FL+BL)	0,002(FL+BL)	0,002(FL+BL)	0,002(FL+BL)
BBER	3×10^{-4} (FL+BL)	2×10^{-4} (FL+BL)	2×10^{-4} (FL+BL)	10^{-4} (FL+BL)

- Los ingenieros de diseño trabajan con G.821 o G.826, raramente especifican las presunciones de prorrateso o rangos de parámetros dentro de estas reglas.
- Es necesario hacer presunciones razonables.
- Una condición real de un trayecto hipotético rara vez se presenta, salvo casos de redes muy grandes.
- Se debe considerar el tipo de servicio a ser proporcionado y la calidad de servicio.



Muchas gracias por su atención

