

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.528-2\*,\*\*

**CURVAS DE PROPAGACIÓN PARA LOS SERVICIOS MÓVIL AERONÁUTICO  
Y DE RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA QUE UTILIZAN  
LAS BANDAS DE ONDAS MÉTRICAS, DECIMÉTRICAS Y CENTIMÉTRICAS**

(Cuestión UIT-R 203/3)

(1978-1982-1986)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que es necesario facilitar directrices a los ingenieros para la planificación de los servicios aeronáuticos en las bandas de ondas métricas y centimétricas;
- b) que el modelo de propagación utilizado para trazar las curvas del anexo II se basa en un volumen considerable de datos experimentales (véase el anexo I);
- c) que el servicio aeronáutico cumple a menudo una función de protección de la vida humana y necesita, por lo tanto, un grado de disponibilidad mayor que otros muchos servicios;
- d) que para obtener un servicio más fiable, debe utilizarse una disponibilidad en el tiempo de 0,95,

*recomienda*

que se adopten las curvas indicadas en el anexo II para determinar las pérdidas básicas de transmisión durante el 5%, 50% y 95% del tiempo con las alturas de antenas (tanto para estaciones en el suelo como para aeronaves en vuelo) que suelen utilizarse en los servicios aeronáuticos.

*Nota.* – Debe hacerse hincapié en el hecho de que estas curvas están basadas en datos obtenidos principalmente en un clima continental templado. Tendrán que utilizarse con prudencia en países con climas distintos.

## ANEXO I

## ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS CURVAS

Los métodos para predecir las pérdidas de transmisión han sido ampliados e incorporados en el modelo de propagación IF-77 que determina pérdidas de transmisión básicas durante el 5, 50 y 95% del tiempo para alturas de antenas aplicables a los servicios aeronáuticos. Esos métodos se basan en una considerable cantidad de datos experimentales que se han comparado ampliamente con las predicciones. Para realizar estos cálculos se tomó como base una tierra llana (parámetro del terreno  $\Delta h = 0$ ) con un coeficiente del radio ficticio de la Tierra  $k$  de 4/3 (coíndice de refracción en la superficie  $N_s = 301$ ); además se compensó la curvatura excesiva de los rayos que acompaña al modelo 4/3 a grandes altitudes. También se utilizaron constantes para terreno medio, polarización horizontal, antenas isótropas y estadísticas a largo plazo de desvanecimiento de potencia en un clima continental templado. Aunque esos parámetros pueden considerarse razonables o representativos del caso más desfavorable para muchas aplicaciones, hay que utilizar con precaución las curvas si las condiciones difieren radicalmente de las previstas en la hipótesis.

A excepción de una zona «próxima» al horizonte radioeléctrico, se han obtenido los valores medianos de la pérdida básica de transmisión para los trayectos «dentro del horizonte» agregando la atenuación debida a la absorción atmosférica (en dB) a la pérdida de transmisión correspondiente a las condiciones en el espacio libre. Para la zona «próxima» al horizonte radioeléctrico, se han calculado los valores de la pérdida de transmisión según las leyes de la óptica geométrica, a fin de tener en cuenta la interferencia entre el rayo directo y un rayo reflejado en la superficie de la Tierra. Uniendo los segmentos de las curvas obtenidas por estos dos métodos, se ha formado una curva que muestra el incremento monótonico del valor mediano de la pérdida básica de transmisión con la distancia.

Para calcular los valores medianos «dentro del horizonte», no se ha utilizado exclusivamente el modelo de interferencia de dos rayos, ya que la forma lobular resultante de este modelo para los trayectos cortos depende mucho de las características de la superficie del suelo (tanto de su irregularidad como de sus constantes eléctricas), de las condiciones atmosféricas (el radio ficticio de la Tierra varía en el tiempo), y de las características de la antena

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 8.

\*\* La Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2000 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

(polarización, orientación y diagrama de directividad). Las curvas así obtenidas, en vez de ser útiles, conducirían a errores, ya que los detalles de la forma lobulada están muy sujetos a la influencia de parámetros difíciles de determinar con exactitud suficiente. Sin embargo, la estructura lobulada se tiene en cuenta a efectos estadísticos en el cálculo de la variabilidad.

Para disponibilidades en el tiempo distintas de 0,50, las curvas de la pérdida básica de transmisión  $L_b$ , no siempre aumentan monótonicamente con la distancia, pues los cambios de variabilidad en función de la distancia pueden a veces contrarrestar los cambios del valor mediano. Contribuyen a la variabilidad el desvanecimiento de potencia mediano horario o a largo plazo y el desvanecimiento por interferencia de fase dentro de una hora o a corto plazo. En la fórmula utilizada para calcular el desvanecimiento a corto plazo se incluyen la reflexión en el terreno y la propagación troposférica por trayectos múltiples.

Las curvas del anexo II son curvas seleccionadas entre una serie mucho mayor de curvas suavizadas trazadas por computador.

Las curvas de pérdida de transmisión básica,  $L_b(0,05)$ , pueden utilizarse para calcular los valores de  $L_b$  en el caso de una señal interferente no deseada excedida durante el 95% (100% – 5%) del tiempo. Las condiciones de propagación correspondientes al valor mediano (50%) pueden calcularse con las curvas de  $L_b(0,50)$ . Las curvas de  $L_b(0,95)$  pueden utilizarse para calcular el alcance de servicio de una señal deseada que proporcionaría servicio durante el 95% del tiempo de ausencia de interferencia.

La relación de protección prevista o relación «señal deseada/señal no deseada» excedida en el receptor durante el 95% del tiempo por lo menos,  $R(0,95)$ , puede calcularse con las curvas del anexo II del siguiente modo:

$$R(0,95) = R(0,50) + Y_R(0,95) \quad (1)$$

$$R(0,50) = [P_t + G_t + G_r - L_b(0,50)]_{\text{señal deseada}} - [P_t + G_t + G_r - L_b(0,50)]_{\text{señal no deseada}} \quad (2)$$

y

$$Y_R = - \sqrt{[L_b(0,95) - L_b(0,50)]_{\text{señal deseada}}^2 + [L_b(0,05) - L_b(0,50)]_{\text{señal no deseada}}^2} \quad (3)$$

En la ecuación (2),  $P_t$  es la potencia transmitida y  $G_t$  y  $G_r$  son las ganancias isotrópicas de las antenas de transmisión y de recepción, todos esos valores se expresan en dB.

En la ecuación (3), pueden incluirse fácilmente variabilidades adicionales, siempre que su determinación sea posible, para factores como la ganancia de antena. La utilización continua (100%) o simultánea de canales va implícita en la fórmula de  $R(0,95)$  arriba indicada, de modo que es indispensable examinar por separado el efecto del funcionamiento intermitente del transmisor.

## ANEXO II

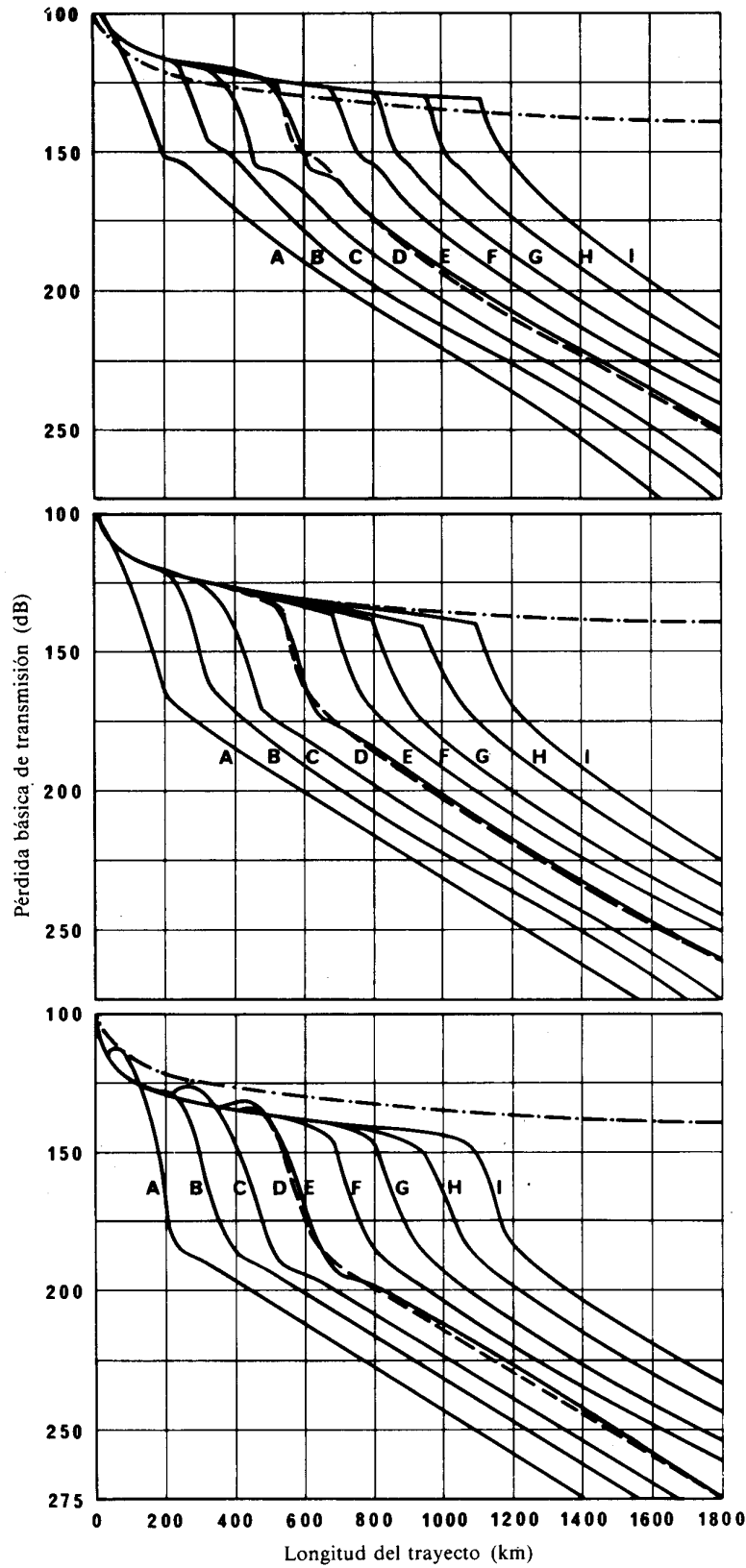
### DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS

Las curvas aeronáuticas se indican en las figs. 1 y 6. Conviene señalar:

1. Las figs. 1 a 6 indican los valores medianos de la pérdida de transmisión de referencia,  $L_b$ , para las frecuencias 125, 300, 1200, 5100, 9400 y 15 500 MHz.
2. Cada figura se compone de tres series de curvas, de las cuales las series superiores, medias e inferiores dan  $L_b(0,05)$ ,  $L_b(0,50)$  y  $L_b(0,95)$ , respectivamente, que corresponden a disponibilidades en el tiempo de 5, 50 y 95%. Por ejemplo,  $L_b(0,95) = 200$  dB significa que la pérdida básica de transmisión será de 200 dB o menos durante el 95% del tiempo.

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 125 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 125 MHz  
 $L_b(0,50)$

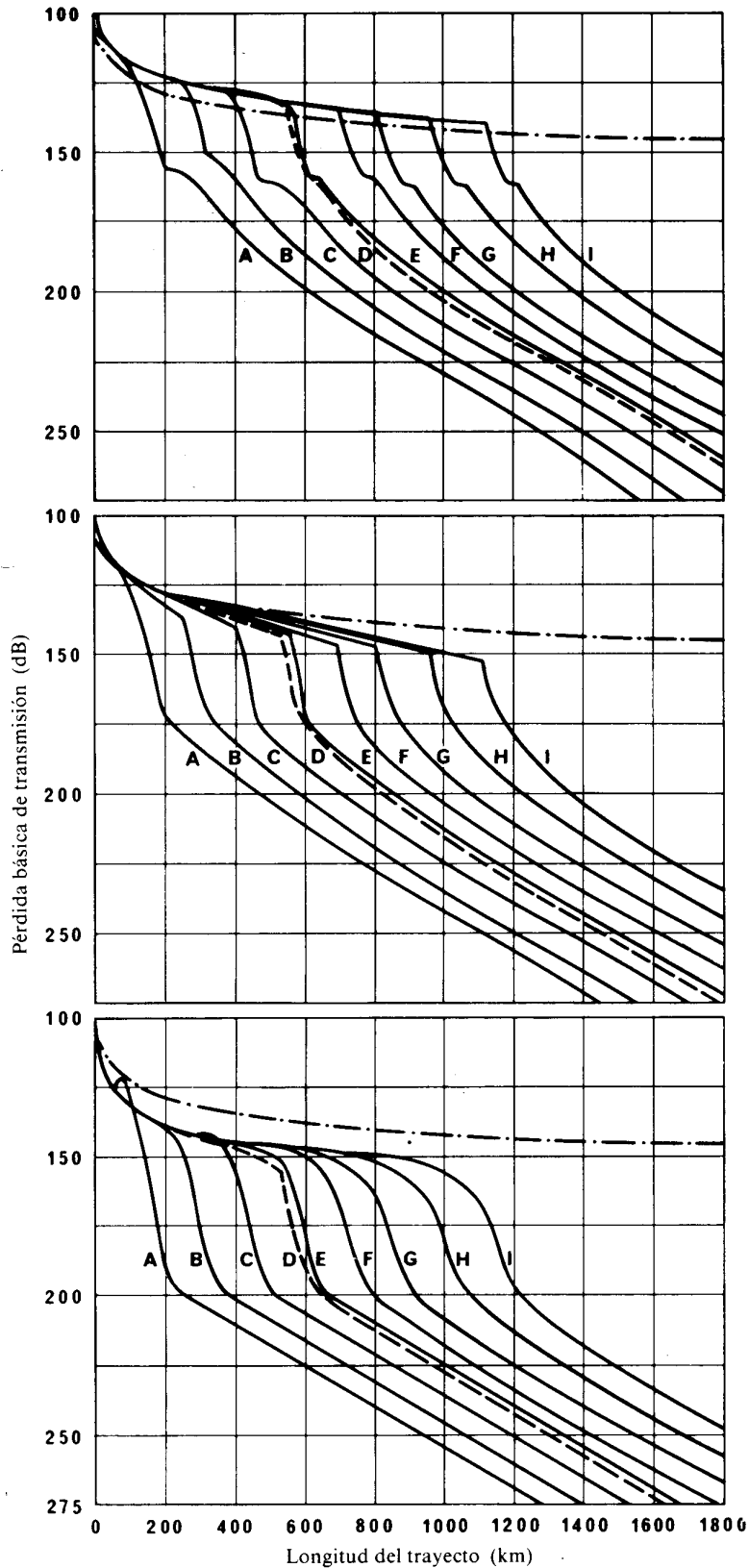
c) 125 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 1 – Pérdida básica de transmisión a 125 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 300 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 300 MHz  
 $L_b(0,50)$

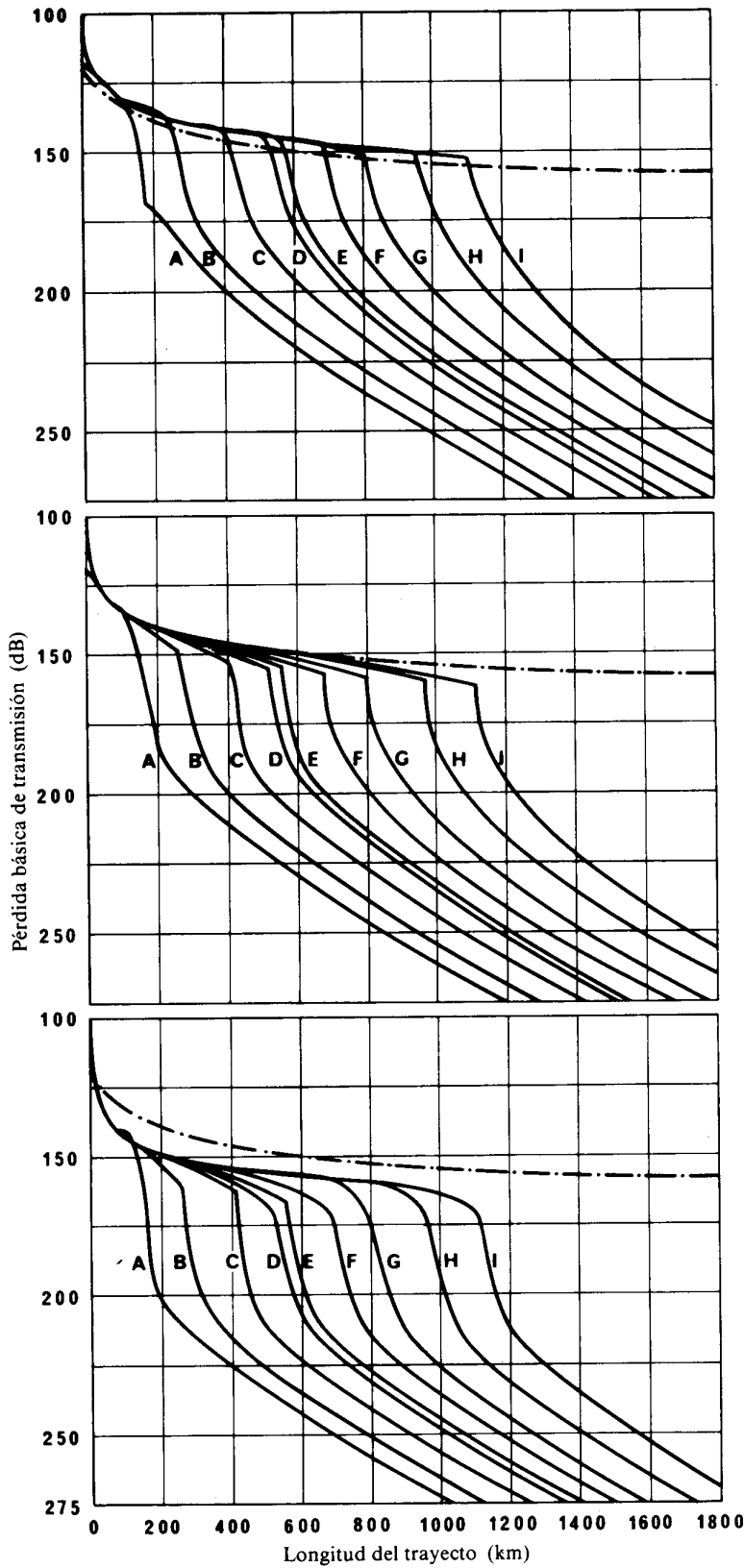
c) 300 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 2 - Pérdida básica de transmisión a 300 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 1200 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 1200 MHz  
 $L_b(0,50)$

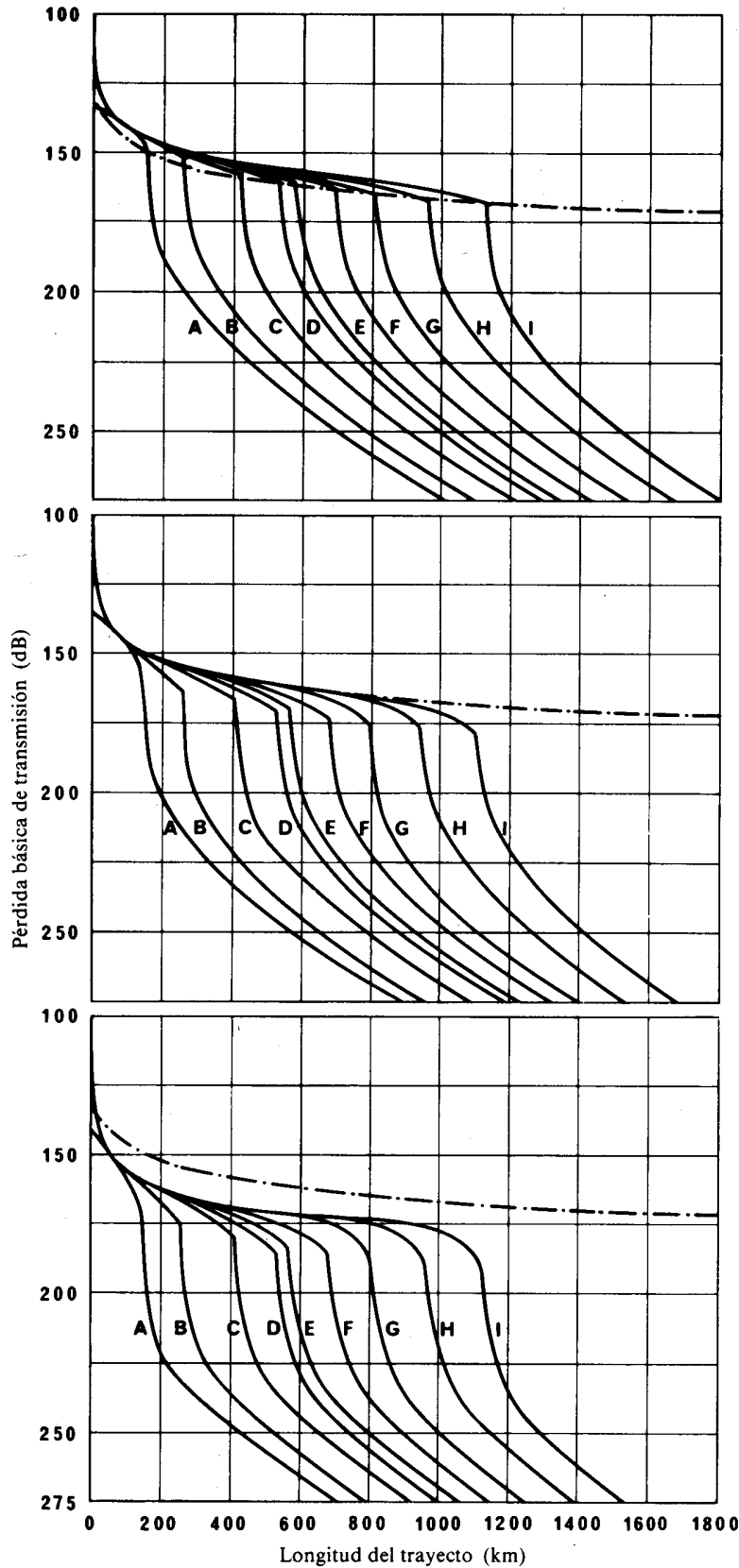
c) 1200 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 3 — Pérdida básica de transmisión a 1200 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 5100 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 5100 MHz  
 $L_b(0,50)$

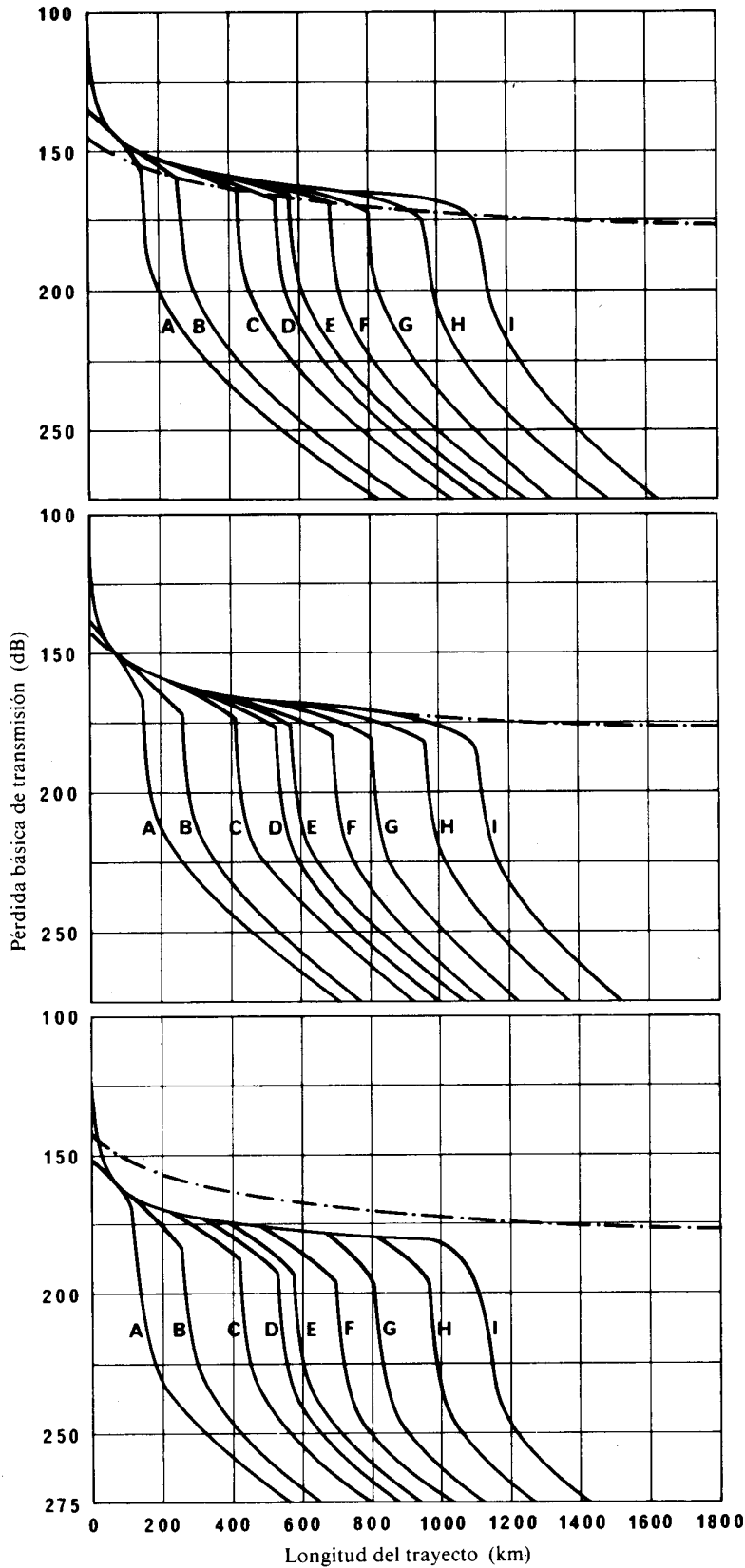
c) 5100 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 4 - Pérdida básica de transmisión a 5100 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 9400 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 9400 MHz  
 $L_b(0,50)$

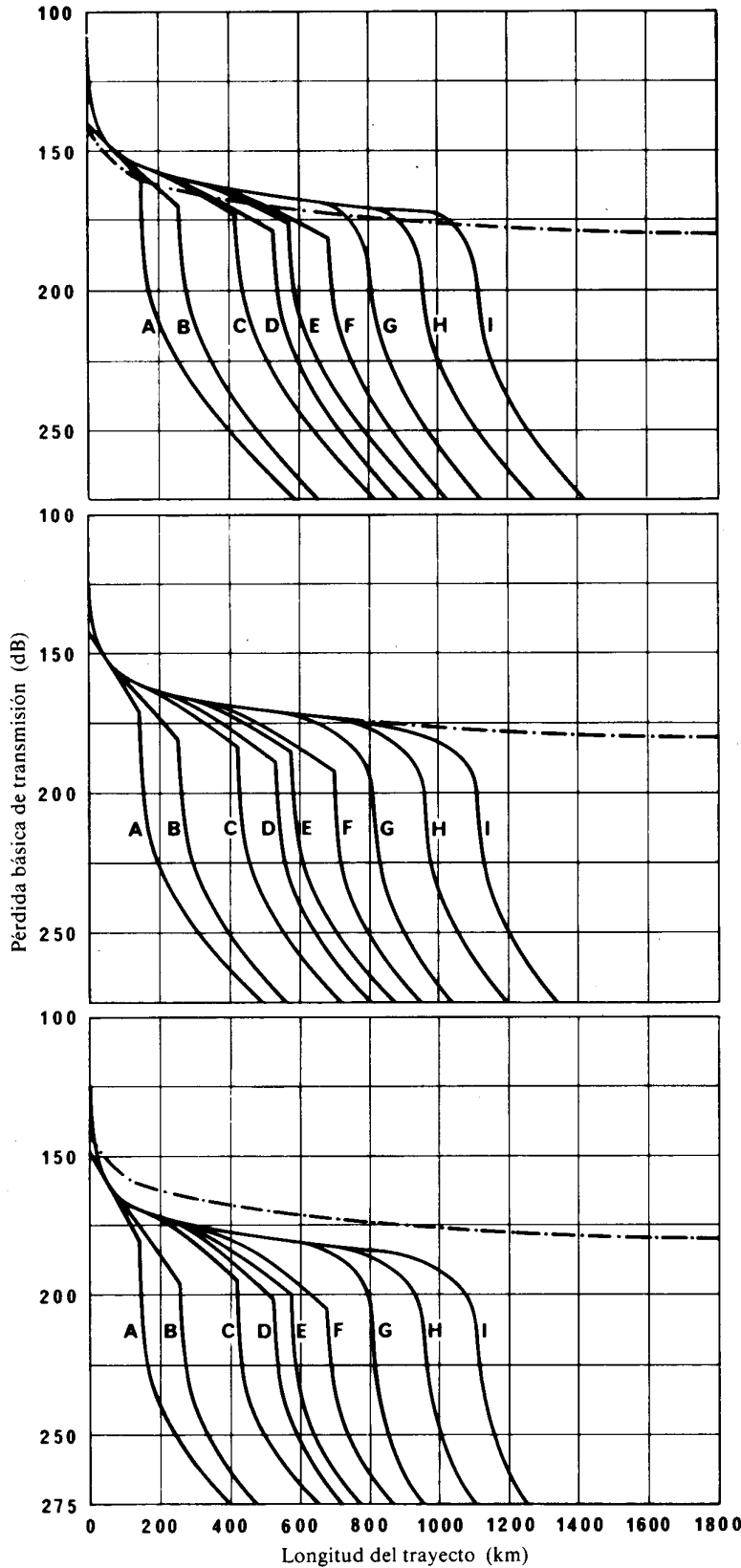
c) 9400 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 5 — Pérdida básica de transmisión a 9400 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre

Código de altura de las antenas

Código	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)
A	15	1000
B	1000	1000
C	15	10000
D	1000	10000
E	15	20000
F	1000	20000
G	10000	10000
H	10000	20000
I	20000	20000



a) 15 500 MHz  
 $L_b(0,05)$

b) 15 500 MHz  
 $L_b(0,50)$

c) 15 500 MHz  
 $L_b(0,95)$

FIGURA 6 – Pérdida básica de transmisión a 15 500 MHz para porcentajes de tiempo del 5%, 50% y 95%

La curva de trazo interrumpido corresponde a la propagación en el espacio libre



3. Las alturas de antena indicadas van de 15 m a 20 000 m, por lo que abarcan tanto las estaciones terrenas como las aeronaves en vuelo.
4. En el anexo I se examinan la elaboración y la aplicación de esas curvas.
5. A la distancia cero,  $L_b(0,50)$  es simplemente el valor en el espacio libre correspondiente a una longitud de trayecto igual a la diferencia de altura de las antenas. Las curvas en espacio libre se han calculado para una diferencia de altura de 19 985 m.

### ANEXO III

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES

En noviembre de 1982, y en abril y junio de 1983, se realizaron en Japón pruebas de propagación en trayectos aire-tierra en la banda de 930 MHz. De acuerdo con los resultados de las pruebas, las pérdidas de propagación en visibilidad directa concordaban aceptablemente con los valores en espacio libre. La distancia de visibilidad calculada a partir de los datos de las mediciones era, a una altura de 10 000 m más corta que la de las curvas del anexo II.

---