

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.1144-5
(10/2009)

**Guía para la aplicación de los métodos de
propagación de la Comisión de Estudio 3
de Radiocomunicaciones**

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1144-5

**Guía para la aplicación de los métodos de propagación
de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones**

(1995-1999-2001-2001-2007-2009)

Cometido

Esta Recomendación sirve de guía para las Recomendaciones de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones que contienen métodos de predicción de la propagación. Además, orienta a los usuarios sobre los métodos más adecuados para determinadas aplicaciones, así como sobre los límites, la información necesaria y los resultados de cada uno de ellos.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que es necesario ayudar a los usuarios de las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones),

recomienda

1 que se utilice la información del Cuadro 1 como orientación para aplicar los diversos métodos de propagación que se exponen en las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones);

2 que se utilice la información del Cuadro 2 y del Anexo 1 como orientación sobre la utilización de los diversos mapas digitales de parámetros geofísicos que se necesitan para la aplicación de los métodos de propagación del *recomienda* 1.

NOTA 1 – Para cada una de las Recomendaciones UIT-R que figuran en el Cuadro 1 hay columnas de información correspondientes que indican:

Aplicación: El servicio o servicios o la aplicación a que se refiere la Recomendación.

Tipo: La situación a la que se aplica la Recomendación, por ejemplo, punto a punto, punto a zona, visibilidad directa, etc.

Resultado: El valor del parámetro resultante de la aplicación del método de la Recomendación, por ejemplo, las pérdidas del trayecto.

Frecuencia: La gama de frecuencias para la que se aplica la Recomendación.

Distancia: La gama de distancias para la que se aplica la Recomendación.

Porcentaje de tiempo: Valores, o gama de valores de porcentajes de tiempo para los que se aplica la Recomendación; es decir, cada porcentaje de tiempo en que se excede la señal prevista durante un año promedio.

Porcentaje de emplazamientos: Gama porcentual de emplazamientos para la que se aplica la Recomendación; se trata de cada porcentaje de emplazamientos dentro de un cuadrado, por ejemplo, de 100-200 m de lado en el que se excede la señal prevista.

Altura del terminal: Gama de alturas de la antena del terminal a que se refiere la Recomendación.

Datos de partida: Lista de parámetros utilizada en el método de la Recomendación; la lista se ordena según la importancia del parámetro y, en algunos casos, pueden utilizarse valores por defecto.

La información indicada en el Cuadro 1 figura ya en las propias Recomendaciones; no obstante, dicho Cuadro permite a los usuarios examinar rápidamente la capacidad (y limitaciones) de las Recomendaciones sin necesidad de buscar en el texto.

CUADRO 1

Métodos de predicción de la propagación de ondas radioeléctricas del UIT-R

Método	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.368	Todos los servicios	Punto a punto	Intensidad de campo	10 kHz a 30 MHz	1 a 10 000 km	No aplicable	No aplicable	Con base en el suelo	Frecuencia Conductividad del suelo
Rec. UIT-R P.452	Servicios que emplean estaciones situadas en la superficie de la Tierra; interferencia	Punto a punto	Pérdidas del trayecto	700 MHz a 30 GHz	No especificada, pero llega hasta el horizonte radioeléctrico y más allá de él	0,001 a 50 Año medio y mes más desfavorable	No aplicable	No se especifican límites	Datos del perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos
Rec. UIT-R P.528	Móvil aeronáutico	Punto a zona	Pérdidas del trayecto	125 MHz a 15 GHz	0 a 1 800 km (para aplicaciones aeronáuticas, la distancia 0 km en horizontal no implica longitud del trayecto de 0 km)	5, 50, 95	No aplicable	H1: 15 m a 20 km H2: 1 a 20 km	Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo
Rec. UIT-R P.530	Enlaces fijos con visibilidad directa	Punto a punto con visibilidad directa	Pérdidas del trayecto Mejora por diversidad (condiciones de cielo despejado) XPD Interrupción Característica de error	Aproximadamente 150 MHz a 40 GHz	Hasta 200 km con visibilidad directa	Todos los porcentajes de tiempo en condiciones de cielo despejado; 1 a 0,001 en condiciones de precipitación ⁽¹⁾	No aplicable	Altura suficiente para asegurar el despejamiento especificado del trayecto	Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo Datos de obstrucción del terreno Datos climáticos Información del terreno

Rec. UIT-R P.1144-5

CUADRO 1 (Continuación)

Método	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.533	Radiodifusión Fijo Móvil	Punto a punto	MUF básica Intensidad de campo de la onda ionosférica Potencia disponible en el receptor Relación señal/ruido LUF Fiabilidad del circuito	2 a 30 MHz	0 a 40 000 km	Todos los porcentajes	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Número de manchas solares Mes Hora(s) del día Frecuencias Potencia del transmisor Tipo de antena del transmisor Tipo de antena del receptor
Rec. UIT-R P.534	Fijo Móvil Radiodifusión	Punto a punto a través de la capa E esporádica	Intensidad de campo	30 a 100 MHz	0 a 4 000 km	0 a 50	No aplicable	No aplicable	Distancia Frecuencia
Rec. UIT-R P.617	Enlaces fijos transhorizonte	Punto a punto	Pérdidas del trayecto	> 30 MHz	100 a 1 000 km	20, 50, 90, 99 y 99,9	No aplicable	No se especifican límites	Frecuencia Ganancia de la antena transmisora Ganancia de la antena receptora Geometría del trayecto
Rec. UIT-R P.618	Satélite	Punto a punto	Pérdidas del trayecto Ganancia de diversidad y XPD (en condiciones de precipitación)	1 a 55 GHz	Cualquier altura de órbita práctica	0,001-5 para la atenuación; 0,001-1 para XPD	No aplicable	No hay límite	Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Altura de la estación terrena Separación y ángulo entre emplazamientos de estación terrena (para ganancia de diversidad) Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo) Ángulo de polarización (para XPD)
Rec. UIT-R P.620	Coordinación de frecuencia de la estación terrena	Distancia de coordinación	Distancia a la que se logran las pérdidas de propagación requeridas	100 MHz a 105 GHz	Hasta 1 200 km	0,001 a 50	No aplicable	No se especifican límites	Pérdida de transmisión básica mínima Frecuencia Porcentaje de tiempo Ángulo de elevación de la estación terrena

CUADRO 1 (Continuación)

Método	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.679	Satélite de radiodifusión	Punto a zona	Pérdidas del trayecto Efecto del entorno local	0,5 a 5,1 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable	No se especifican límites	No se especifican límites	Frecuencia Ángulo de elevación Características del entorno local
Rec. UIT-R P.680	Móvil marítimo por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento causado por la superficie del mar Duraciones de los desvanecimientos Interferencia (satélite adyacente)	0,8 a 8 GHz	Cualquier altura orbital práctica	Hasta 0,001% mediante una distribución Rice-Nakagami Límite del 0,01% para la interferencia ⁽¹⁾	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena
Rec. UIT-R P.681	Móvil terrestre por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento en el trayecto Duraciones de los desvanecimientos Duraciones de los intervalos sin desvanecimientos	0,8 a 20 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable Porcentaje de distancia recorrida de 1 a 80% ⁽¹⁾	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Porcentaje de la distancia recorrida Nivel aproximado del enmascaramiento óptico
Rec. UIT-R P.682	Móvil aeronáutico por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento causado por la superficie del mar Trayectos múltiples a partir del suelo y la aeronave durante el aterrizaje	1 a 2 GHz (desvanecimiento causado por la superficie del mar) 1 a 3 GHz (trayecto múltiple a partir del suelo)	Cualquier altura orbital práctica	Hasta 0,001% mediante una distribución Rice-Nakagami ⁽¹⁾	No aplicable	No hay límite para el desvanecimiento causado por la superficie del mar Hasta 1 km para la reflexión en el suelo durante el aterrizaje	Frecuencia Ángulo de elevación Polarización Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena Altura de la antena
Rec. UIT-R P.684	Fijo Móvil	Punto a punto Punto a zona	Intensidad de campo de la onda ionosférica	30 a 150 kHz	0 a 4 000 km	50	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Potencia del transmisor Frecuencia Constantes del suelo Estación Número de manchas solares Hora del día
Rec. UIT-R P.843	Fijo Móvil Radiodifusión	Punto a punto por ráfagas de meteoritos	Potencia recibida Tasa de ráfagas	30 a 100 MHz	100 a 1 000 km	0 a 5	No aplicable	No aplicable	Frecuencia Distancia Potencia del transmisor Ganancias de antena

CUADRO 1 (Continuación)

Método	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.1147	Radiodifusión	Punto a zona	Intensidad de campo de la onda ionosférica	0,15 a 1,7 MHz	50 a 12 000 km	1, 10, 50	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Número de manchas solares Potencia del transmisor Frecuencia
Rec. UIT-R P.1238	Móvil Red radioeléctrica de área local (RLAN)	Métodos de propagación en el interior de edificios	Pérdida en el trayecto Dispersión del retardo de propagación	900 MHz a 100 GHz	Dentro de edificios	No aplicable	No aplicable	Base: aproximadamente 2-3 m Móvil: aproximadamente 0,5-3 m	Frecuencia Distancia Factores relacionados con el suelo y las paredes
Rec. UIT-R P.1410	Acceso radioeléctrico en banda ancha	Punto a zona	Cobertura Reducción temporal de la cobertura debida a la lluvia	3 a 60 GHz	0-5 km	0,001 a 1 (para calcular la reducción de la cobertura debida a la lluvia)	Hasta 100	Sin límites: 0-300 m (típica)	Frecuencia Tamaño de la célula Altura del terminal Parámetros estadísticos de la altura de los edificios
Rec. UIT-R P.1411	Móvil	Métodos de propagación en trayecto corto	Pérdida en el trayecto Dispersión del retardo de propagación	300 MHz a 100 GHz	< 1 km	No aplicable	No aplicable	Base: aproximadamente 4-50 m Móvil: aproximadamente 0,5-3 m	Frecuencia Distancia Dimensiones de la calle Altura de las estructuras
Rec. UIT-R P.1546	Servicio terrenales	Punto a zona	Intensidad de campo	30 a 3 000 MHz	1 a 1 000 km	1 a 50	1 a 99	<i>Transmisor/base:</i> altura efectiva desde menos de 0 m hasta 3 000 m <i>Receptor/móvil:</i> ≥ 1 m	Altura y cobertura del terreno (opcional) Clasificación del trayecto Distancia Altura de la antena de transmisión Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de recepción Ángulo de despejamiento del terminal Porcentaje de emplazamientos Gradiente de refractividad

Cuadro 1 (Fin)

Método	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.1622	Enlaces ópticos de satélite	Punto a punto	Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ángulo de llegada Fluctuación lenta del haz Ensanchamiento del haz	20 a 375 THz	Enlaces ópticos Tierra-espacio de campo lejano	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Longitud de onda Altura del terminal Ángulo de elevación Parámetro de la estructura de la turbulencia
Rec. UIT-R P.1623	Satélite	Punto a punto	Duración de los desvanecimientos, pendiente de los desvanecimientos	10 a 50 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Umbral de atenuación Anchura de banda del filtro
Rec. UIT-R P.1812	Servicios terrenales	Punto a zona	Intensidad de campo	30 MHz a 3 000 MHz	No se especifica pero hasta el horizonte radioeléctrico y más allá	1 a 50	1 a 99	No hay límite	Datos de perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos
Rec. UIT-R P.1814	Enlaces ópticos terrenales	Punto a punto	Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ensanchamiento del haz	20 a 375 THz	No hay límite	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Longitud de onda (visibilidad en la niebla) Longitud del trayecto Parámetro de la estructura de la turbulencia

⁽¹⁾ Porcentaje de tiempo de interrupción; para la disponibilidad del servicio, se subtrae de 100 el valor.

CUADRO 2

Mapas digitales de parámetros geofísicos del UIT-R

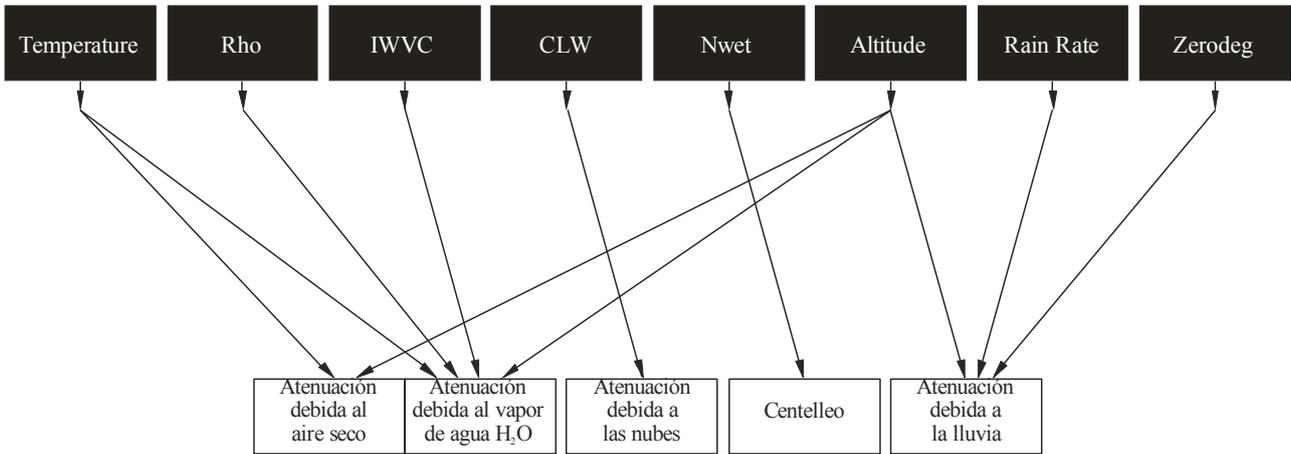
Recomendación UIT-R	Descripción	Resolución de rejilla	Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1)	Interpolación en probabilidad	Interpolación de la variable	Nombres de ficheros
P.839	Altura media anual de la isoterma de 0° C (km) (zerodeg)	1,5° × 1,5°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	ESA0HEIGHT.TXT
P.837	Probabilidad de rebasar la intensidad de lluvia (%) (rain rate)	1,5° × 1,5°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	ESARAINxxx.TXT; xxx = PR6, MC, MS
P.1511	Altura topográfica (por encima del nivel medio del mar) (km) (altitude)	0,5° × 0,5°	Bicúbica	No aplicable	No aplicable	TOPO0DOT5.TXT
P.836	Probabilidad de rebasar el contenido de vapor de agua integrado de una columna de aire (%) (IWVC)	1,5° × 1,5°	Bilineal	Logarítmica	Lineal	ESAWVCxx.TXT; xx = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50
P.836	Probabilidad de rebasar la densidad de vapor de agua en la superficie (%) (Rho)	1,5° × 1,5°	Bilineal	Logarítmica	Lineal	SURF_WVxx.TXT; xx = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50
P.836	Altura de escala de vapor de agua	1,125° × 1,125°	Bilineal	Logarítmica	Lineal	VSCH_xx_v4.TXT; xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99
P.1510	Temperatura media anual en la superficie (temperature)	1,5° × 1,5°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	ESATEMP.TXT
P.453	Valor mediano de la componente húmeda de la refractividad (Nwet)	1,5° × 1,5°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	ESANWET.TXT
P.840	Probabilidad de rebasar el contenido de agua líquida de una columna en el interior de una nube (%) (CLW)	1,5° × 1,5°	Bilineal	Logarítmica	Lineal	WREDPxx.TXT; xx = 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50
P.840	Distribución estadística del contenido total de agua líquida en el interior de una nube	1,125° × 1,125°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT, WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT, y WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT

IWVC: contenido de vapor de agua integrado.

- ⁽¹⁾ Las variables en los puntos de la cuadrícula circundantes se han referido a la altitud deseada antes de la interpolación espacial por el procedimiento de escalamiento en la Recomendación aplicable.

Para facilitar la referencia, la Fig. 1 muestra la relación entre los mapas geofísicos (casillas negras) y los efectos de la propagación (casillas blancas).

FIGURA 1

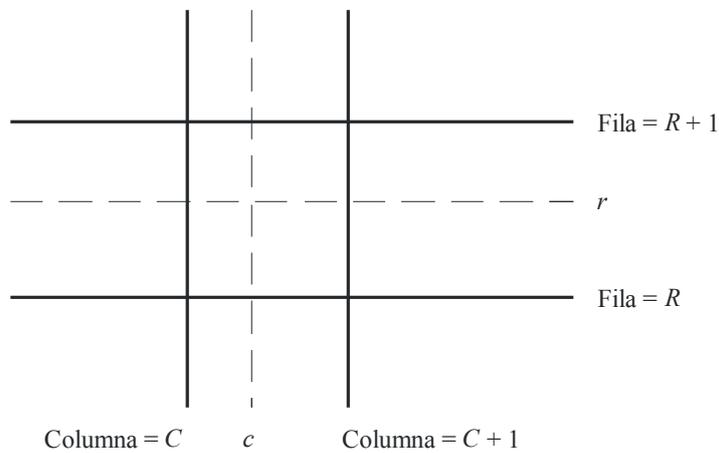


1144-01

Anexo 1

1 Interpolación bilineal

FIGURA 2



1144-02

Datos: Los valores de los cuatro puntos que rodean al punto de la cuadrícula: $I(R,C)$, $I(R,C+1)$, $I(R+1,C)$, e $I(R+1,C+1)$.

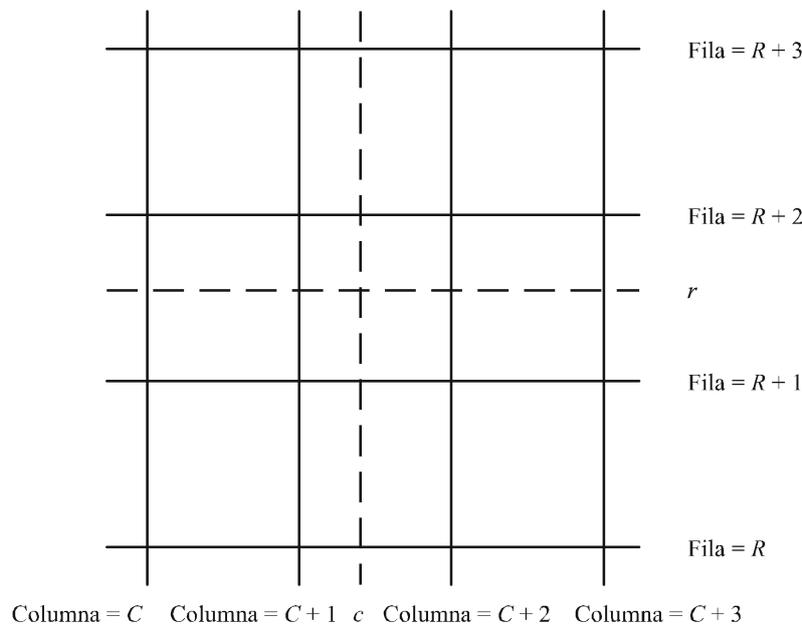
Problema: Determinar $I(r,c)$, donde r es un número de fila fraccional y c es un número de columna fraccional, utilizando la interpolación bilineal.

Solución: Calcular

$$\begin{aligned} I(r,c) = & I(R,C) [(R+1-r)(C+1-c)] \\ & + I(R+1,C) [(r-R)(C+1-c)] \\ & + I(R,C+1) [(R+1-r)(c-C)] \\ & + I(R+1,C+1) [(r-R)(c-C)] \end{aligned}$$

2 Interpolación bicúbica

FIGURA 3



1144-03

Datos: Los valores de los 16 puntos que rodean al punto de la cuadrícula:

$$\begin{aligned} & I(R,C), I(R,C+1), I(R,C+2), I(R,C+3), \\ & I(R+1,C), I(R+1,C+1), I(R+1,C+2), I(R+1,C+3), \\ & I(R+2,C), I(R+2,C+1), I(R+2,C+2), I(R+2,C+3), \\ & I(R+3,C), I(R+3,C+1), I(R+3,C+2), I(R+3,C+3). \end{aligned}$$

Problema: Calcular $I(r,c)$, donde r es un número de fila fracción y c es un número de columna fraccional, utilizando la interpolación bicúbica.

Solución:

Paso 1: para cada fila, x , donde $x = \{r, r + 1, r + 2, r + 3\}$, calcular el valor interpolado en la columna fraccional c deseada como sigue:

$$RI(X, c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X, j) K(c - j)$$

donde:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a+2)|\delta|^3 - (a+3)|\delta|^2 + 1 & \text{para } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{para } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{para } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

y

$$a = -0,5$$

Paso 2: Calcular $I(r, c)$, interpolando las interpolaciones unidimensionales $RI(R, c)$, $RI(R + 1, c)$, $RI(R + 2, c)$, y $RI(R + 3, c)$ de la misma manera que las interpolaciones de fila.
