

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.1148-1

**PROCEDIMIENTO NORMALIZADO PARA COMPARAR LAS INTENSIDADES PREDICHAS Y OBSERVADAS DE LA SEÑAL DE ONDA IONOSFÉRICA EN ONDAS DECAMÉTRICAS Y PRESENTACIÓN DE ESTA COMPARACIÓN\***

(Cuestión UIT-R 222/3)

(1995-1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que es necesario evaluar la precisión general de los procedimientos de predicción;
- b) que es necesario determinar el efecto de los cambios propuestos en los procedimientos de predicción;
- c) que una información detallada sobre las precisiones modal, espacial, temporal y de otra índole facilitará el desarrollo futuro de estos procedimientos,

*recomienda*

- 1 que se adopte el siguiente procedimiento en el Anexo 1 para comparar las intensidades predichas y observadas de la señal de onda ionosférica en ondas decamétricas;
- 2 que estas comparaciones se presenten como se muestra en el Anexo 2.

## ANEXO 1

## 1 Introducción

Se describe un procedimiento preliminar normalizado para comparar las intensidades de señal de onda ionosférica predichas y observadas en frecuencias entre 2 y 30 MHz. Tales comparaciones suministran información sobre la exactitud de los métodos de predicción y las mejoras deseables de los mismos. Es importante que las administraciones y organizaciones mantengan informado al UIT-R sobre el estado de sus comparaciones. En esta Recomendación se presentan algunos resultados ilustrativos de dichas comparaciones.

## 2 Generalidades

Para obtener resultados comparables, se debe aplicar el mismo conjunto de datos y el mismo procedimiento al efectuar comparaciones entre intensidades de campo predichas y observadas. Se debe utilizar la base de datos más reciente. Este es un conjunto de datos aprobado por el UIT-R y suministra una amplia gama de observaciones con respecto a la distancia, mes, número de manchas solares, frecuencia y zona geográfica.

El resultado de las comparaciones debe consistir en:

- el cómputo,
- la diferencia media (dB),
- la desviación típica (dB).

Por cómputo se entiende el número de muestras utilizadas en las comparaciones. La diferencia media es una medida de la desviación entre las intensidades de campo medianas mensuales predichas y observadas. La magnitud más importante para evaluar la exactitud de la intensidad de campo mediana mensual, dada por un método de predicción determinado, es la desviación típica (véanse las ecuaciones (1) y (2)), pero cabe advertir que no facilita información sobre la precisión en días determinados.

---

\* Se puede obtener un programa informático asociado con el procedimiento descrito en esta Recomendación; para más información, contactar la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT.

Para encontrar las desviaciones sistemáticas de un método de predicción (por ejemplo, en términos de distancia o de zona geográfica), deben efectuarse comparaciones para diferentes subconjuntos o combinaciones de estos subconjuntos de datos. El propósito de los subconjuntos detallados de comparaciones es dar indicaciones para detectar las deficiencias sistemáticas del método considerado. La elección de un determinado método de predicción no debe basarse en el hecho de que se obtengan resultados favorables para un determinado subconjunto (por ejemplo, gama de distancias).

### 3 Subconjuntos para los cuales deben hacerse comparaciones

Las diferentes comparaciones, es decir, el cálculo de la diferencia media y de la desviación típica (véase el Anexo 2) se deben hacer para los siguientes parámetros:

#### 3.1 Frecuencias, $f$

- frecuencia única,
- todas las frecuencias de un mismo circuito,
- grupos de frecuencias:

$$2 \leq f \leq 5 \text{ MHz}$$

$$5 < f \leq 10 \text{ MHz}$$

$$10 < f \leq 15 \text{ MHz}$$

$$15 < f \leq 30 \text{ MHz}$$

#### 3.2 Distancia del trayecto, $D$ , a lo largo del círculo grande

$$0 < D < 1\,000 \text{ km}$$

$$1\,000 \leq D < 2\,000 \text{ km}$$

$$2\,000 \leq D < 3\,000 \text{ km}$$

$$3\,000 \leq D < 4\,000 \text{ km}$$

$$4\,000 \leq D < 5\,000 \text{ km}$$

$$5\,000 \leq D < 7\,000 \text{ km}$$

$$7\,000 \leq D < 9\,000 \text{ km}$$

$$9\,000 \leq D < 12\,000 \text{ km}$$

$$12\,000 \leq D < 15\,000 \text{ km}$$

$$15\,000 \leq D < 18\,000 \text{ km}$$

$$18\,000 \leq D < 22\,000 \text{ km}$$

$$22\,000 \leq D \leq 40\,000 \text{ km}$$

#### 3.3 Latitud geomagnética, $\Phi$ (Norte o Sur, en el punto medio del trayecto)

$$0^\circ \leq \Phi \leq 20^\circ$$

$$20^\circ < \Phi \leq 40^\circ$$

$$40^\circ < \Phi \leq 60^\circ$$

$$\Phi > 60^\circ$$

#### 3.4 Números de manchas solares, $R_{12}$

$$0 < R_{12} < 15$$

$$15 \leq R_{12} < 45$$

$$45 \leq R_{12} < 75$$

$$75 \leq R_{12} < 105$$

$$105 \leq R_{12} < 150$$

$$R_{12} \geq 150$$

### 3.5 Estación del año (en el punto medio del trayecto)

Meses	Estaciones	
	Hemisferio septentrional	Hemisferio meridional
Noviembre, diciembre, enero y febrero	Invierno	Verano
Marzo, abril	Primavera	Otoño
Mayo, junio, julio y agosto	Verano	Invierno
Septiembre, octubre	Otoño	Primavera

### 3.6 Hora local, $h$ (en el punto medio del trayecto)

Intervalos de 1 h a lo largo de 24 h; por ejemplo,  $00 < h \leq 01$ , etc.

### 3.7 Ángulo cenital solar $\chi$ (en el punto medio del trayecto)

Intervalos de  $30^\circ$  desde  $0^\circ$  a  $180^\circ$ ; por ejemplo,  $0^\circ \leq \chi < 30^\circ$ , etc.

### 3.8 Modos predichos

Modos E

Modos F2

### 3.9 Origen de los datos

Esta información puede ser útil para encontrar una posible dependencia geográfica.

### 3.10 Relación entre la frecuencia transmitida y la MUF básica mediana mensual predicha

Este cociente se debe calcular también para todos los subconjuntos indicados en los § 3.1 a 3.9:

- sólo por debajo de la MUF básica mediana mensual del trayecto;
- sólo por encima de la MUF básica mediana mensual del trayecto;
- por debajo y por encima de la MUF básica mediana mensual del trayecto.

## 4 Procedimiento de comparación

### 4.1 Requisitos del programa de predicción respecto de los parámetros que han de predecirse

Si el programa de predicción permite especificar un ángulo mínimo de elevación como parámetro de entrada, el mismo debe fijarse en  $3^\circ$ , por razones de coherencia con el banco de datos.

Se deben transferir del programa de predicción al programa de comparación los siguientes parámetros:

- información general: mes, año, número de manchas solares;
- información del circuito: identificador, frecuencia, distancia del trayecto a lo largo del círculo máximo, coordenadas geográficas, latitud geomagnética en el punto medio del trayecto;
- 24 valores horarios predichos (siempre valores medianos mensuales) de:
  - a) intensidad de la señal;
  - b) MUF básica del trayecto (en décimas de MHz, para almacenar 24 valores en un renglón de 80 columnas de tres cifras cada una);
  - c) si las predicciones no arrojan intensidades de campo medianas mensuales para todos los días del mes, el porcentaje de días por mes en que la frecuencia predicha es menor que la MUF básica del trayecto (para almacenar 24 valores en un renglón de 80 columnas de tres cifras cada una).

## 4.2 Requisitos y resultados del programa de comparación

Las diferencias se calculan restando de las intensidades de campo medianas mensuales de la onda ionosférica predichas, los valores obtenidos por medición (es decir, valores predichos menos valores medidos). Obsérvese que se descartan los casos en que hay una predicción pero no hay ninguna medición válida y los casos en que hay una medición pero no hay predicción.

Se deberán evaluar los siguientes parámetros:

- cómputo (número de casos en que se dispone de valores medidos y predichos para la comparación)

$$\text{diferencia media} = \frac{\sum (p - m)}{n} \quad (1)$$

donde:

$p$ : predicho

$m$ : medido

$n$ : cómputo

$$\text{desviación típica} = \sqrt{\frac{\sum (p - m)^2 - \frac{(\sum (p - m))^2}{n}}{n - 1}} \quad (2)$$

En el Cuadro 2 se da un ejemplo del tipo de resultados producidos por el programa informático de comparación.

## 4.3 Representación gráfica

En los histogramas de las Figs. 1 y 2 se generan columnas de 5 dB (por ejemplo, -2,5 a 2,5 dB; 2,6 a 7,5 dB; 7,6 a 12,5 dB, etc.) en la gama de -32,5 dB a +37,5 dB. Un histograma debe acompañar a cada uno de los subconjuntos enumerados en el § 3.

## 4.4 Procedimiento que ha de seguirse cuando una predicción no indique la intensidad de campo mediana para todos los días del mes

En algunos casos en que las predicciones indican la intensidad de campo mediana sólo para una cierta «fracción de días» por mes (expresada como un porcentaje, véase el párrafo c) del § 4.1), los valores medidos y predichos no pueden compararse directamente. Sólo si la fracción de días es por lo menos del 99%, los valores medidos y predichos son directamente comparables. En todos los demás casos se deberá aplicar un procedimiento de conversión a los valores medidos. Si la fracción de días es, por ejemplo, 50%, la reflexión ionosférica propiamente dicha se produce 15 días al mes y la intensidad de campo mediana predicha sólo es válida para esos 15 días. La predicción no da ninguna información sobre la intensidad de campo en los otros 15 días del mes. Sin embargo, una mediana mensual medida se deriva de 30 valores diarios (incluidos los 15 días sin reflexión propiamente dicha). Por lo tanto, es probable que la mediana mensual medida sea inferior a la mediana predicha.

Si un banco de datos contiene todos los valores diarios, se puede deducir el valor medido que corresponde a la fracción predicha de días determinando el valor mediano para la fracción predicha de días. (Obsérvese que el banco de datos D1 no contiene valores diarios.) El procedimiento siguiente permite convertir la intensidad de campo mediana mensual medida (30 días) a la misma fracción de días por mes que la indicada para la intensidad de señal predicha:

*Paso 1:* Calcúlese la relación  $f/(MUF$  básica del trayecto).

*Paso 2:* Si el banco de datos no contiene decilos (como ocurre con el banco de datos D1), tómesese el valor medido como el valor de 50% y calcúlese los valores de 10% y 90% por medio del Cuadro 1. Este cuadro requiere el conocimiento de la relación  $f/(MUF$  básica del trayecto) y de si el trayecto de círculo grande cruza o no los 60° de latitud geomagnética corregida (Norte y Sur). La relación real debe interpolarse linealmente entre los valores contenidos en el Cuadro.

CUADRO 1

**Desviaciones del 90% y del 10% con respecto a la mediana mensual predicha de la intensidad de la señal (dB), derivadas de la variabilidad de un día a otro**

Latitud geomagnética corregida <sup>(1)</sup>	< 60°		≥ 60°	
	90%	10%	90%	10%
≤ 0,8	-8	6	-11	9
1,0	-12	8	-16	11
1,2	-13	12	-17	12
1,4	-10	13	-13	13
1,6	-8	12	-11	12
1,8	-8	9	-11	9
2,0	-8	9	-11	9
3,0	-7	8	-9	8
4,0	-6	7	-8	7
≥ 5,0	-5	7	-7	7

<sup>(1)</sup> Si cualquier punto de la parte del círculo máximo que pasa por el transmisor y el receptor y que está comprendido entre puntos de control situados a 1 000 km de cada extremo del trayecto alcanza una latitud geomagnética de 60° o más, se utilizarán los valores para ≥ 60° (véase la Recomendación UIT-R P.1239, Fig. 2).

*Paso 3:* Calcúlese la distribución gaussiana de los valores de 10%, 50% y 90% de la intensidad de campo medida obtenidos en el Paso 2. Obténgase un valor «medido corregido» de esta distribución gaussiana aplicando la mitad del valor de la «fracción de días» por mes dado por la predicción.

*Paso 4:* Compárese la intensidad de campo de la predicción con el valor medido corregido obtenido en el Paso 3.

## 5 Procedimiento de comparación para valores medidos diarios

Si se dispone de un banco de datos de valores medidos diarios, la comparación debe efectuarse por el método siguiente:

*Paso 1:* Dados los valores medianos y de decilo de una magnitud  $x$  predicha por el programa de computador REC533, basado en el método contenido en la Recomendación UIT-R P.533, la media mensual  $M(x)$  y la varianza  $V(x)$  se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$M(x) = X_{50} + \frac{\sigma_u - \sigma_l}{\sqrt{2\pi}}$$

y:

$$V(x) = \frac{\sigma_u^2 + \sigma_l^2}{2} - [M(x) - X_{50}]^2$$

con:

$$\sigma_u = \frac{X_{90} - X_{50}}{1,282} \quad \sigma_l = \frac{X_{50} - X_{10}}{1,282}$$

donde  $X_{50}$  es la mediana y  $X_{90}$  y  $X_{10}$  son los decilos superior e inferior, respectivamente, de la magnitud predicha.

*Paso 2:* Dado un banco de datos que contiene valores medidos diarios, la media mensual  $M(y)$  y la varianza  $V(y)$  de los valores diarios y se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$M(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

y:

$$V(y) = \frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^N y_i^2 - N \cdot M^2(y) \right]$$

donde  $y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N \leq 31$ , son las muestras diarias de la magnitud medida.

*Paso 3:* Dadas las medias mensuales  $M(x)$ ,  $M(y)$  y las varianzas  $V(x)$ ,  $V(y)$  de las predicciones y mediciones respectivamente, la media  $M(z)$ , la varianza  $V(z)$  y la desviación típica  $S(z)$  de la diferencia  $z = x - y$  se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$M(z) = M(x) - M(y)$$

$$V(z) = V(x) + V(y)$$

y:

$$S(z) = \sqrt{V(z)}$$

Dados la media  $M_j(z)$ , la varianza  $V_j(z)$  y los números de muestras  $N_j$  para un determinado mes  $j$ , la media  $M(z)$ , la varianza  $V(z)$  y la desviación típica  $S(z)$  de un subconjunto de valores que incluyen una gama de  $m$  meses se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$M(z) = \frac{\sum_{j=1}^m N_j \cdot M_j(z)}{\sum_{j=1}^m N_j}$$

$$V(z) = \frac{1}{\sum_{j=1}^m N_j - 1} \left[ \sum_{j=1}^m [(N_j - 1) \cdot V_j(z)] + \sum_{j=1}^m N_j \cdot M_j^2(z) - \frac{\left[ \sum_{j=1}^m N_j \cdot M_j(z) \right]^2}{\sum_{j=1}^m N_j} \right]$$

y:

$$S(z) = \sqrt{V(z)}$$

ANEXO 2

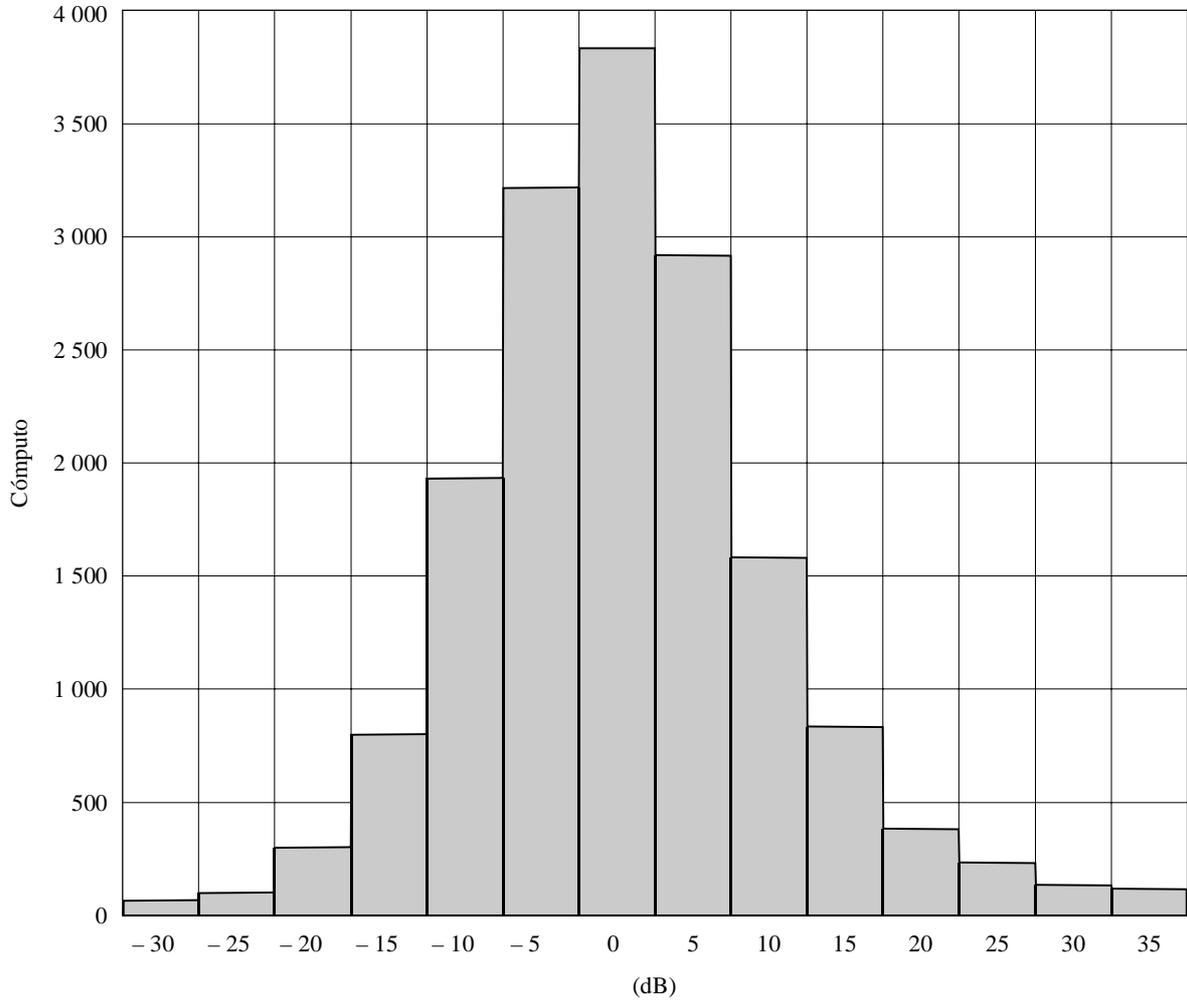
CUADRO 2

Ejemplo de la salida tabulada del programa informático de comparación

Subconjunto	Por debajo y por encima de la MUF		
	Cómputo	Diferencia media (dB)	Desviación típica (dB)
Grupos de cuatro frecuencias (MHz):			
2- 5	4 030	-1,7	9,1
> 5-10	4 004	-0,3	10,6
> 10-15	5 270	-0,4	9,9
> 15-30	2 964	3,7	12,1
Distancia (km):			
0- 999	6 439	-0,3	7,7
1 000- 1 999	1 144	1,5	7,4
2 000- 2 999	151	0,1	6,9
3 000- 3 999	975	3,8	13,6
4 000- 4 999	126	1,0	7,4
5 000- 6 999	2 785	-1,2	14,5
7 000- 8 999	59	-0,9	7,3
9 000-11 999	2 223	-1,0	11,1
12 000-14 999	607	1,2	9,6
15 000-17 999	1 093	3,4	9,2
18 000-21 999	0	0,0	0,0
22 000-40 000	666	-2,0	12,1
Latitud geomagnética (grados) en el punto medio del trayecto:			
0-20	2 806	1,5	10,7
> 20-40	5 120	-0,5	8,9
> 40-60	6 226	-0,3	9,0
> 60	2 116	0,3	16,0
Nº de manchas solares:			
0- 14	1 333	1,2	9,7
15- 44	5 229	2,5	10,3
45- 74	2 969	-0,5	10,3
75-104	2 121	-3,4	10,8
105-149	2 789	-1,5	9,9
> 149	1 827	-0,7	10,4
Estación:			
Invierno	3 919	0,6	11,2
Primavera	4 018	0,3	10,5
Verano	4 165	-0,4	9,7
Otoño	4 166	-0,2	10,4
Hora local en el punto medio del trayecto (h):			
> 00-04	2 557	-0,6	11,2
> 04-08	3 165	0,8	9,7
> 08-12	3 182	0,9	9,8
> 12-16	2 955	0,3	10,0
> 16-20	2 228	-1,6	10,6
> 20-24	2 181	-0,1	11,6
Origen de los datos:			
Alemania	10 499	1,1	11,4
Japón	4 119	-2,3	7,5
China	428	1,4	7,7
India	182	-2,2	9,0
Deutsche Welle	783	-1,4	10,0
BBC/UER	161	-0,4	10,7
Australia	96	-0,7	5,9
Total de los datos:	16 268	0,0	10,5

FIGURA 1

Ejemplo del histograma de la intensidad de campo predicha en función de la intensidad de campo medida producido por el programa informático de comparación

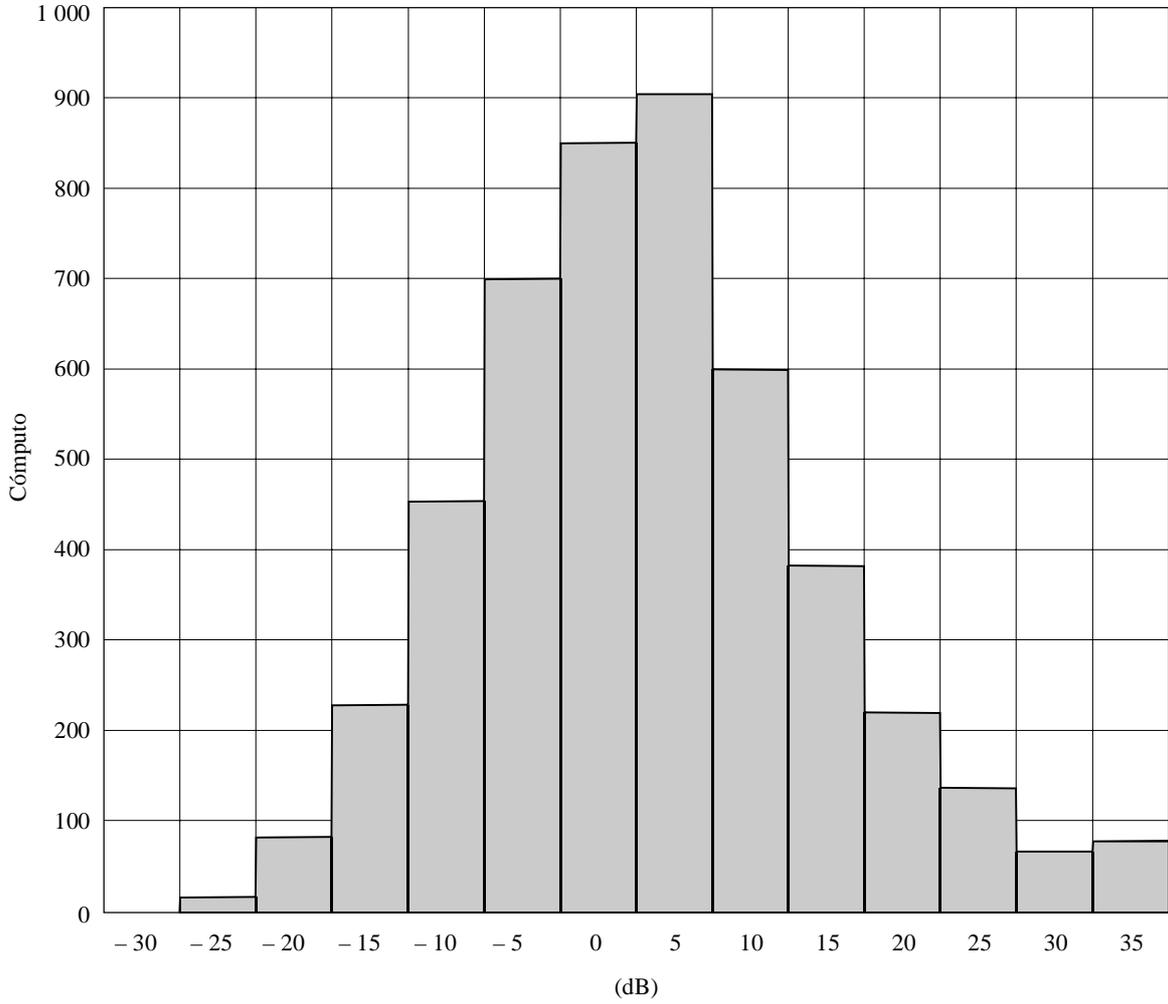


Todos los datos por debajo y por encima de la MUF:

Cómputo: 16 268  
Diferencia media: 0,0 dB  
Desviación típica: 10,5 dB

1148-01

FIGURA 2  
Otro ejemplo de histograma de la intensidad de campo predicha en función de la intensidad de campo medida producido por el programa



Todos los datos para frecuencias superiores a la MUF:

Cómputo: 4 707  
Diferencia media: 3,0 dB  
Desviación típica: 11,7 dB

1148-02