APÉNDICE 1

MÉTODO PREDICTIVO DE CÁLCULO DE LA ZONA DE SERVICIO DE RADIOEMISORAS DE FRECUENCIA MODULADA FM INCLUIDAS LAS RADIOEMISORAS COMUNITARIAS CIUDADANAS DE LIBRE RECEPCIÓN

Este apéndice es parte integrante de la norma técnica para el Servicio de Radiodifusión Sonora.

1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para realizar el cálculo del contorno que define la zona de servicio, debe considerarse lo siguiente:

- 1.1. Un mínimo de dieciocho (18) radiales trazados sobre una carta topográfica escala 1:50.000, uniformemente distribuidos a partir del norte geográfico (0°), en sentido horario, considerando como punto de origen la ubicación del sistema radiante. Se podrán trazar radiales adicionales, debidamente justificados, si alguno de los dieciocho (18) anteriores no pasa por alguna zona de interés. El perfil topográfico requerido considera la medición de cotas geográficas cada 500 m en la dirección de cada uno de estos radiales.
- 1.2. Las curvas de nivel de campo en función de la distancia y de la altura efectiva (h₁) de la antena transmisora, considerando una potencia radiada de 1 kW y una estadística del 50% del tiempo y 50% de las ubicaciones, contenidas en la Figura 1 de este apéndice.
- 1.3. El tipo de trayecto que se considerará será sólo terrestre.
- 1.4. El cálculo de zona de servicio puede realizarse de forma electrónica utilizando la herramienta "Método de Predicción de Zona de Servicio", que estará disponible en la pagina web www.subtel.cl de la Subsecretaría de Telecomunicaciones. No obstante, el siguiente procedimiento explica los pasos a seguir para efectos de realizar el cálculo manual.

2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El siguiente procedimiento de cálculo está basado en la Recomendación UIT-R P.1546-4, "Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3.000 MHz".

En el proceso de cálculo correspondiente se deberá emplear y completar los formularios RD-4.1 y RD-4.3 adjuntos al presente apéndice.

Para realizar los cálculos de propagación, se deberá utilizar cartografía obtenida de NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y en caso de emplear métodos manuales también se podrá emplear cartografía del Instituto Geográfico Militar.

2.1. Calcular la altura efectiva de la antena transmisora h₁, en metros [m].

Se debe calcular h₁ para cada uno de los radiales considerados con las alturas de las cotas determinadas a partir de la carta topográfica 1:50.000 a las distancias indicadas, como se señala a continuación:

$$h_1 = h_o + h_{ot} - h_{im}(d \) \ \ [m] \qquad para \ 3 < d < 15 \ km$$

$$h_1 = h_o + h_{ot} - h_{im}(15)$$
 [m] para $d \ge 15$ km

Donde,

 $h_{im}(d)$ = altura promedio de cotas entre 0,2*d y d sobre el nivel del mar [m]

h_o = altura del terreno del punto de transmisión sobre el nivel del mar [m]

 h_{ot} = altura antena transmisora sobre el nivel terreno [m]

- 2.2. Para cualquier frecuencia deseada menor a 600 MHz, las dos frecuencias nominales, inferior (*finf*) y superior (*fsup*), serán de 100 MHz y 600 MHz, respectivamente. Si la frecuencia deseada es 100 MHz, este valor deberá considerarse como la frecuencia nominal inferior y no se requerirá el proceso de interpolación/extrapolación.
- 2.3. Obtener el valor del campo eléctrico $E(h_1)$.

Se debe obtener $E(h_1)$ a partir de las curvas de la Figura 1 de este apéndice, para las frecuencias nominales inferior (f_{inf}) y superior (f_{sup}), según la distancia y altura efectiva correspondiente.

Si la altura efectiva coincide con los valores definidos en las curvas se debe obtener el valor de intensidad de campo $E(h_1)$ directamente de la Figura 1.

Si no es así, se debe interpolar, de acuerdo a lo siguiente:

a) Para $10 < h_1 < 3.000 \text{ m}$

$$E(h_1) = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * log(h_1/h_{inf}) / log(h_{sup}/h_{inf}) [dB\mu V/m]$$

Donde,

 $h_{\rm inf}=600~m~si~h_1<1.200~m,$ de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de $h_1.$

 $h_{sup} = 1.200 \text{ m si } h_1 > 1.200 \text{ m}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de h_1 .

 E_{inf} = valor de intensidad de campo para h_{inf} a la distancia requerida.

 E_{sup} = valor de intensidad de campo para h_{sup} a la distancia requerida.

b) Para $0 < h_1 < 10 \text{ m}$

$$E(h_1) = E_{zero} + 0.1 * (E_{10} - E_{zero}) [dB\mu V/m]$$

Donde,

$$E_{zero} = E_{10} + 0.5 * (C_{1020} - C_{h1neg10}) [dB\mu V/m]$$

 $C_{1020} = E_{10} - E_{20}$ [dB]

 $C_{h1neg10} = C_{h1}(h_1 = -10m)$ [dB]

 E_{10} y $E_{20} = E(h_1=10)$ y $E(h_1=20)$

c) Para $h_1 < 0$ m

En este caso, se debe considerar la corrección según el ángulo de despejamiento antena transmisora como se indica a continuación:

$$E(h_1) = E_{zero} + C_{h1} [dB\mu V/m]$$

Donde,

$$C_{h1} = J(\nu') - J(\nu)$$
 [dB]

$$J(v) = [6.9 + 20 * \log(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1}) + v - 0.1)] [dB]$$

$$v' = 0.036 * \sqrt{f}$$

$$v = 0.065 * \theta_1 * \sqrt{f}$$

θ₁ = máx. ángulo despejamiento antena transmisora (obstáculos hasta 15 km) [°]

f = frecuencia portadora [MHz]

2.4. Con los resultados obtenidos se interpola o extrapola la intensidad de campo obtenida en función de la frecuencia.

$$E(h1) = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (f/f_{inf}) / \log(f_{sup}/f_{inf}) dB(\lceil V/m)$$

donde:

f: frecuencia para la que se requiere la predicción (MHz)

finf: frecuencia nominal inferior

 f_{sup} : frecuencia nominal superior

 E_{inf} : valor de la intensidad de campo para f_{inf} E_{sup} : valor de la intensidad de campo para f_{sup}

2.5. Calcular el factor de corrección de potencia (FcP).

$$FcP = P + G - L - P_{lob}$$
 [dB]

Donde.

P = Potencia del transmisor a la salida del amplificador de potencia [dB(1kW)]

G = Ganancia máxima en el plano horizontal [dB]

L = Pérdidas en cables, conectores, divisor de potencia y otros [dB]

P_{lob} = Pérdidas por lóbulo por radial [dB]

2.6. Calcular el factor de corrección según altura de la antena receptora (FcR).

$$\begin{aligned} FcR &= 6.03 - J(\nu) \text{ [dB]} & para \ h_2 < R' \\ FcR &= K_{h2} * \log(h_2 / R') \text{ [dB]} & para \ h_2 \ge R' \end{aligned}$$

$$R' = (1000 * d * R - 15 * h_1) / (1000 * d - 15) \ [m]$$
 para $d > (h_1 - R) / 6,5, \ R' = R$

$$v = K_{nu} * \sqrt{(h_{dif} * \theta_{clut})}$$

$$K_{nu} = 0.0108 * \sqrt{f}$$

$$h_{dif} = R' - h2$$
 [m]

$$\theta_{clut} = arctg(h_{dif} / 27)$$
 [°]

$$K_{h2} = 3.2 + 6.2 * log(f)$$

Donde,

 h_2 = altura antena receptora [m.s.n.m.]

R' = ajuste según curvatura terrestre [m.s.n.m.]

R = altura de ocupación del terreno [m.s.n.m.]

Para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada se empleará R = 10.

Para el servicio de radiodifusión comunitária y ciudadana el valor de R deberá obtenerse de la siguiente tabla:

(Obstáculos circundantes de la antena receptora)

	10 (población localidad(es) menor a 2.000 habitantes)
R =	20 (población localidad(es) mayor a 2.000 y menor o
	igual a 100.000 habitantes)
	30 (población localidad(es) mayor 100.000 habitantes)

2.7. Calcular el factor de corrección según trayectos urbanos (FcU).

$$FcU = -3.3 * log(f) + (1 - 0.85 * log(d)) * (1 - 0.46 * log(1 + h_1 - R)) [dB]$$
 para d < 15 km y si (h₁ - R) < 150 m

2.8. Calcular el factor de corrección según ángulo de despejamiento de la antena receptora (FcAR).

$$FcAR = E_{zero} + C_{h1}$$
 [dB]

Donde,:

$$\begin{split} &C_{h1} = J(\nu') - J(\nu) \quad [dB] \\ &J(\nu) = [\ 6.9 + 20 * \log(\sqrt{(\ (\nu - 0.1)^2 + 1) + \nu - 0.1)}\] \quad [dB] \\ &\nu' = 0.036 * \sqrt{f} \\ &\nu = 0.065 * \theta_{tca} * \sqrt{f} \\ &\theta_{tca} = \theta_2 - \theta_r \quad [^o] \qquad entre \ 0.55^o < \theta_{tca} < 40^o \\ &\theta_r = arctg((h_{1s} - h_{2s} \ / \ 1000 * \ d) \quad [^o] \end{split}$$

Donde,

 θ_2 = máx. ángulo incidencia antena receptora (obstáculos hasta 16 km) [°]

 θ_r = ángulo de referencia entre transmisora y receptora [°]

 h_1s = altura sobre el nivel del mar antena transmisora [m.s.n.m.]

 h_{2s} = altura sobre el nivel del mar antena receptora [m.s.n.m.]

2.9. Calcular el valor de la intensidad de campo corregido a la distancia indicada según se señala a continuación:

$$Ecorr = E_{h1} + FcP + FcR + FcU + FcAR \quad [dB\mu V/m]$$

El procedimiento para la obtención del valor de contorno de la zona de servicio es el siguiente:

- a) Se realiza el cálculo de Ecorr desde los 0,5 km, cada 0,5 km, y hasta encontrar un punto donde el valor sea inferior al definido como contorno de zona de servicio (E_{Zs}).
- b) La distancia de tolerancia de cálculo, para efectos de obtener el contorno de la zona de servicio será de 20 km y para el contorno de la señal interferente de 0,5 km.
- c) Dentro de la distancia de tolerancia de cálculo, se busca el primer valor superior o igual a E_{Zs}, procediéndose como a continuación se indica:
 - c.1 Si no se encuentra un valor de Ecorr superior a E_{Zs}, el valor a emplear como última distancia calculada será el obtenido en a).
 - c.2 Si se encuentra un valor de Ecorr superior a E_{Zs}, se realiza el procedimiento desde la letra a), a partir de la última distancia desde donde se encontró un valor de Ecorr inferior a E_{Zs}.

d) La última distancia calculada debe ser interpolada con su valor anterior para obtener la distancia final asociada a esta intensidad de campo, como se indica a continuación:

Para d_n = última distancia calculada inferior a E_{Zs}

$$d(E_{Zs}) = d_n + (d_{n\text{-}1} - d_n) * log(E_{Zs}/Ecorr_n) / log(Ecorr_{n\text{-}1}/Ecorr_n) \ [m]$$

- 2.10. El contorno que determina la zona de servicio estará determinado por la unión mediante líneas rectas de las distancias d(E_{Zs}) encontradas para radiales consecutivos.
- 2.11. Para efectos de validar el rango de aplicación del presente método de cálculo deben emplearse las siguientes ecuaciones :

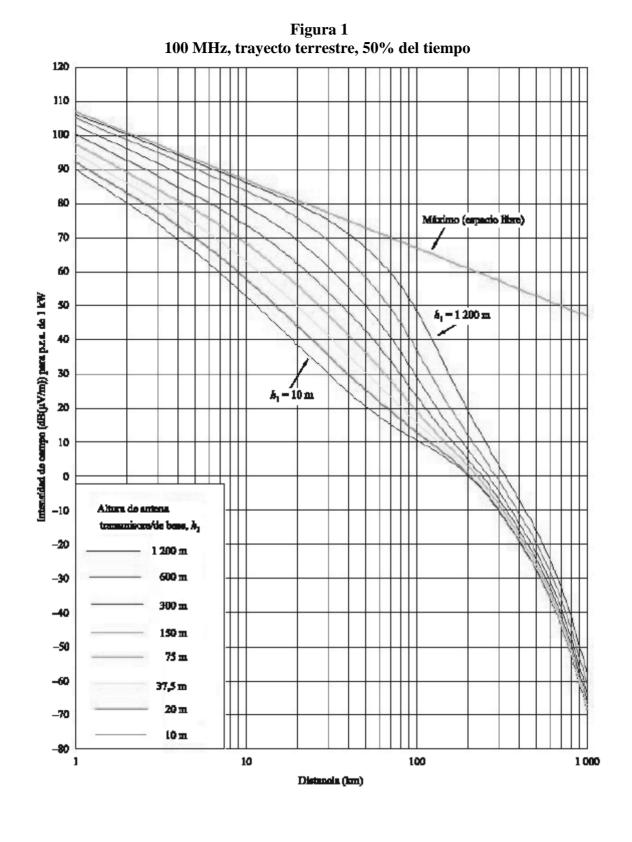
$$d(E_{Zs}) \ge 1 [km]$$

$$d(E_{Zs}) [km] - 16 \le d_{lt} [km]$$

Donde,

 d_{lt} = distancia para ángulo máximo de despejamiento de la antena transmisora en todo el trayecto.

En caso de no cumplirse con lo anterior, es necesario corregir el correspondiente resultado empleando la Recomendación UIT P.1812-1.



120 110 100 90 80 Máximo (espacio libre) 70 60 Intensidad de campo (dB(µV/m)) para p.r.a. de 1 kW 50 $h_1 = 1\ 200 \text{ m}$ 40 30 $h_1 = 10 \text{ m}$ 20 10 -10-20 Altura de antena -30 transmisora/de base, h_1 – 1 200 m -40 600 m 300 m **-**50 150 m 75 m -60 37,5 m 20 m -70 -80 10 100 1 000 Distancia (km) 50% de las ubicaciones

1546-09

Figura 2 600 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo

 h_2 : altura representativa de los obstáculos

RD-4.1

	-4. 1																		
	Ingresar Cotas																RD	-4.1	
T	DISTANCIA								-	LTIT	JD [m	1							
	[Km]	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	0	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289
	0,5	1208	1171	1150	1238	1268	1296	1321	1361	1317	1271	1240	1246	1271	1229	1190	1193	1197	1217
	1	997	922	868	959	999	1055	1142	1266	1342	1301	1201	1164	1206	1177	1158	1168	1185	1093
	1,5	690	668	725	778	843	917	995	1103	1277	1189	1098	1101	1111	1106	1136	1141	974	867
	2	619	612	649	739	891	858	934	1009	1111	1137	1053	1035	1076	1136	955	822	885	689
	2,5	568	568	603	671	929	884	944	1027	1173	1162	1090	984	1013	1022	618	484	730	666
	3	538	547	572	702	969	896	934	1041	1145	1143	1079	952	892	921	400	174	325	748
	3,5	519	532	557	723	983	917	971	1028	1154	1181	1048	948	825	678	175	37	113	718
	4	502	524	558	798	987	944	983	1065	1139	1092	1056	922	847	444	69	0	16	563
	4,5	494	528	572	762	963	961	1006	1092	1064	1076	1043	858	835	301	8	0	0	448
	5	511	542	594	770	980	986	1042	1024	1107	1074	926	573	644	174	0	0	0	295
	98	1146	1375	1944	2547	2727	2155	1445	944	839	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	98,5	1150	1367	1962	2585	2736	2328	1465	946	815	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	99	1080	1365	1977	2565	2751	2449	1470	959	802	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	99,5	1094	1367	1989	2562	2808	2501	1500	967	797	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	1049	1370	2007	2633	2838	2492	1516	971	796	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ho	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289	1289
	hot	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	him	515	608	741	868	979	1005	965	981	1184	965	499	382	376	315	226	203	217	280
	h1	799	706	573	446	335	309	349	333	130	349	815	932	938	999	1088	1111	1097	1034

RD-4.3

	Cálcu	Iculo predictivo de contorno de Zona de Servicio según Rec. UIT P.1546+														RD-4.1							
2	h1	hinf	hsup	inf	sup	h2s	R'	RADIAL 0°												h1=			
20								Einf	Esup	Eh1	E10	E20	Ezero	theta1	Eh1-	Fcp	FcR	FcU	thetar	theta2	tca	FcAR	Ecori
km]																							
0,0																							
),5																							
1,0																							
1,5																							
2,0																							
2,5																							
3,0																							
3,5																							
4,0																							
4,5																							
5,0																							
+																							
+																							
-																							
+																							
0,0																							
9,5																							
0,00														ZONA D				[km]					