

Informe

Demostración de mediciones de intensidad campo de televisión digital en la ciudad de Santiago

Resumen:

La Asociación Nacional de Televisión (ANATEL) decidió realizar mediciones de intensidad de campo de las señales de los canales de televisión digital en la ciudad de Santiago con el objeto de:

- Verificar los modelos de cálculo de propagación utilizados para planificar la red de televisión digital de ANATEL.
- Validar la metodología a seguir en las mediciones de manera que exista consenso entre todos los incumbentes sobre esa metodología.

Para realizar las mediciones mencionadas ANATEL contrató a la empresa Ingeniería Mazzei Ltda. y en una de las mediciones se realizó una demostración de la metodología seguida, invitando a veedores de distintas instituciones, entre ellas el Colegio de Ingenieros que designó al suscrito en esa calidad. La medición se realizó el lunes 16 de septiembre de 2013.

Señales a medir:

Se medirá la intensidad del campo eléctrico de la señal de la estación transmisoras del Canal 13 Universidad Católica y en forma secundaria la de Televisión Nacional de Chile, con las siguientes características:

Estación Transmisora	Universidad Católica	Televisión Nacional
Latitud (grad, min, seg)	33° 25' 14"	33° 25' 13"
Longitud (grad, min, seg)	70° 37' 50"	70° 37' 46"
Altura s.n.m (m)	869	876
Altura de la antena (m)	91.7	90 (aprox)
Canal de UHF	24	33
Rango de frecuencias (MHz)	530-536	584-590
Pot Tx a la antena (w)	14.840	2X4.000(aprox)
Ganancia de Antena (dBi)	15.35	15 (aprox)

Este informe se refiere solo a la medición de Canal13.

Punto de recepción a medir:

El punto para realizar la medición es una plazoleta triangular ubicada frente a la Municipalidad de Lo Barnechea con coordenadas $33^{\circ} 21' 48''\text{S}$ $70^{\circ} 29' 36''\text{W}$ (Google Earth confirmado con GPS) que proporciona el suficiente espacio para el montaje de los instrumentos de medición y la capacidad de desplazarse en las varias posiciones de la antena receptora de medición que requiere la Recomendación UIT-R SM378-7. Esta ubicación corresponde a 14.24 km del radial N°2 de un total de 8 radiales de 15 km con medición a 5, 10 y 15 km nominales. La ubicación de la plazoleta se muestra en el mapa Google Maps de la figura 1.

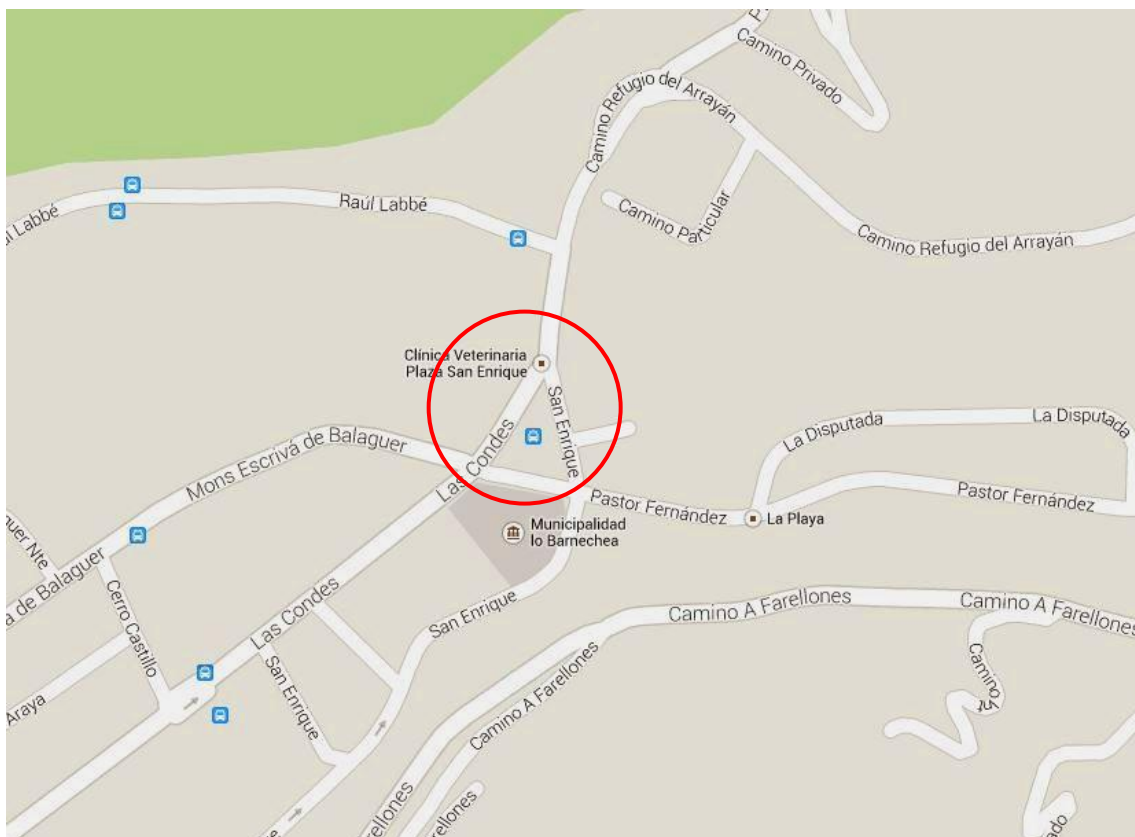


Figura 1. Mapa de ubicación del punto de medición

La vista de Street View de Google, mirando aproximadamente en dirección hacia la antena transmisora, se muestra en la Figura 2.

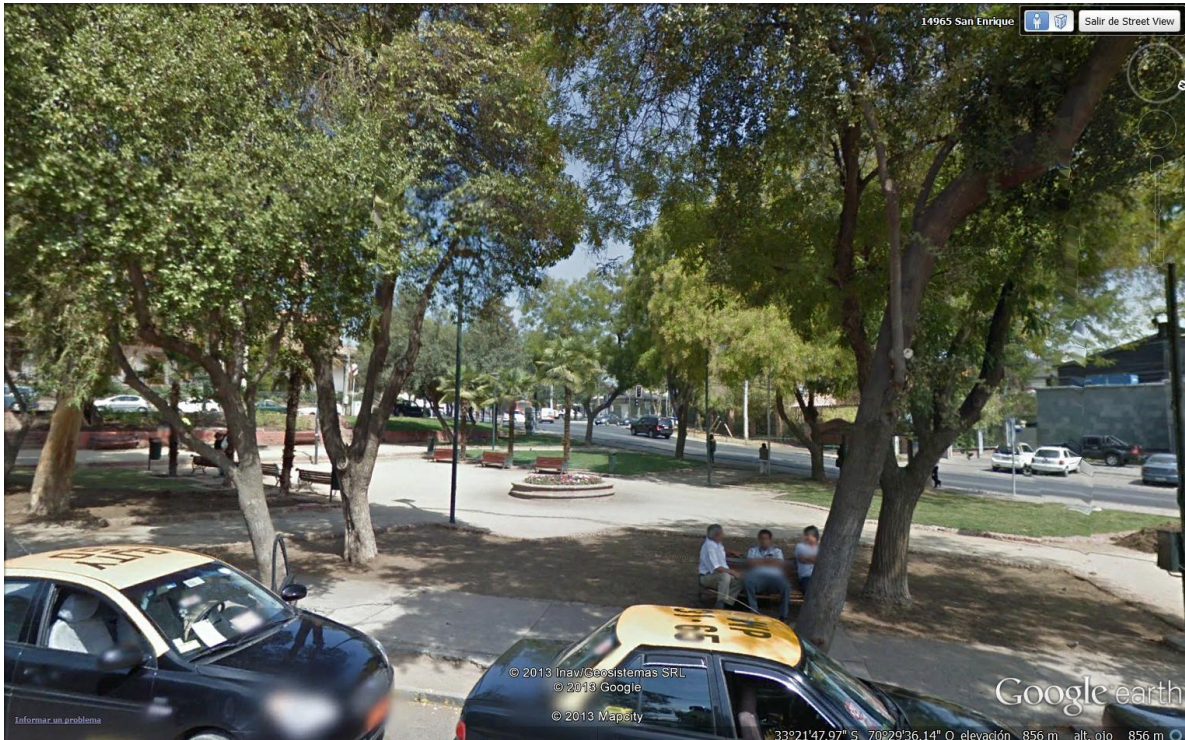


Figura 2.- Vista del punto de medición en dirección aproximada hacia la antena transmisora

El trayecto de la señal sobre el mapa de elevaciones fusionado con Google Maps se muestra en la Figura 3.-

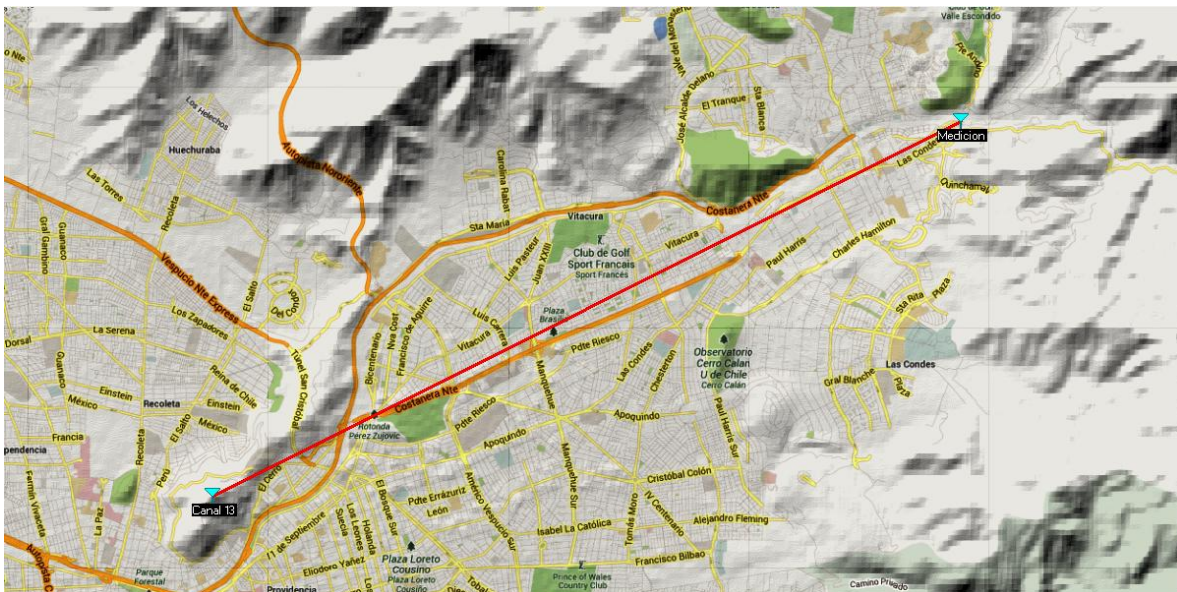


Figura 3.- Trayecto de la señal sobre el mapa de elevaciones fusionado con Google Maps

El perfil del trayecto se muestra en la Figura 4.- con el rayo de propagación con sus zonas de Fresnel. Se puede observar que hay obstrucción de F1 en la vecindad del punto de medición.

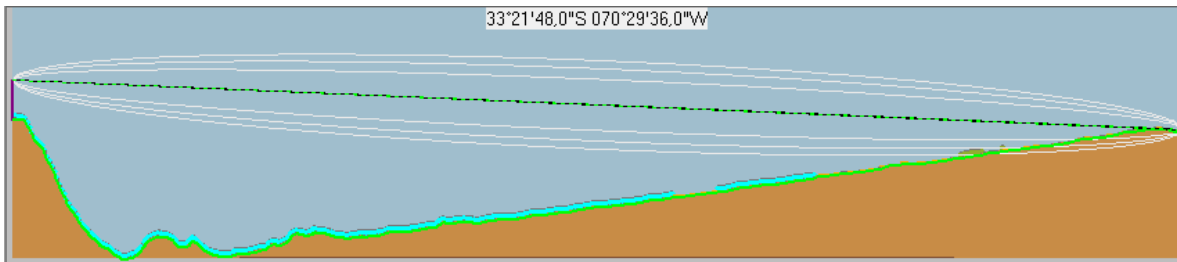


Figura 4.- Perfil del tramo Tx-punto de medición

Equipamiento de medición:

- Analizador de espectro marca AARONIA, modelo HF-60105. 50 Ω de impedancia de entrada.
- Dipolo Bicónico AARONIA calibrado, 0.7 dBi de ganancia en el rango de las frecuencias de los canales a medir, 50 Ω de impedancia.
- Cable calibrado de 1m dipolo-analizador de 0.6 dB de pérdida.
- Cable adicional CA195 de 10 m con un pérdida medida de 2.7 dB.
- Analizador de espectro/medidor de intensidad de campo y MER marca y otros parámetros PROMAX Modelo TD Explorer HD ISDB-T/Tv, configurado para la norma de TV Digital SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisión Digital) 75 Ω de impedancia de entrada.
- Adaptador de impedancia calibrado 50/75 Ω . Atenuación de 5.7 dB.

Metodología de medición

La metodología de medición se basa en la recomendación SM378-7 de la UIT y el Manual de Comprobación Técnico de Emisiones de la misma entidad.

Se establece un cuadrado de a lo menos 10λ de lado centrado en el punto a medir, que para el canal 24 corresponde a 0.56m. Se registra la intensidad de campo eléctrico a 3m de altura sobre el suelo en los 4 vértices de dicho cuadrado y una quinta medición en el centro de éste. Si la varianza entre la intensidad de campo máxima y la mínima de los 4 puntos supera los 5 dB, se debe proceder a una sexta medición en un solo vértice de un cuadrado de a lo menos 20λ , también a 3 m de altura. La medición registrada final es el promedio aritmético de todas las mediciones anteriores. Las mediciones descritas se realizaron con el analizador de espectro AARONIA.

Según el Manual de Comprobación Técnico de Emisiones de la UIT las mediciones de Intensidad de Campo máxima y mínima deben tener una desviación estándar de 50 para un nivel de confianza de 95% para tener una precisión de +/-1,5 dB, de acuerdo con la siguiente tabla

Nivel de confianza %	D (+/-dB)	$E_{max} - E_{min}$ (dB)			
		0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20
90	1,0	3	11	24	43
90	1,5	2	5	11	19
95	1,0	4	15	35	61
95	1,5	2	7	15	27

Finalmente, a solicitud de ANATEL se realizó un segundo grupo de mediciones con el instrumento PROMAX ISDB-T en el centro a 3m y 10m de altura, con el objeto de medir simultáneamente la intensidad de campo y el MER (tasa de error de modulación), lo que serviría de referencia a la tendencia de variación de esos parámetros con la altura.



Figura 5.- Instalando el equipamiento



Figura 6.- Medición vértice 10λ $h=3m$.



Figura 7.- Medición en el punto central $h=3m$



Figura 8.- Medición vértice 20λ $h=3m$.



Figura 9.- Medición de MER con PROMAX $h=10m$



Figura 10.- Medición punto central $h=10\text{m}$

Clima

Las mediciones se realizaron alrededor de las 11:00 hrs en un día muy frío con temperaturas de alrededor de 0°C , nevazón leve y formación de hielo en el suelo. Sin embargo tales condiciones no tienen influencia en los resultados de las mediciones. En las frecuencias involucradas en la propagación de la banda de UHF de televisión, tanto la lluvia, nieve, temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, etc. introducen atenuaciones adicionales a la propagación de espacio libre o señales difractadas que son absolutamente despreciables, tanto así que en las curvas de predicción de la REC P. 1546 de la UIT para el rango de frecuencias 300 a 1000 MHz, el clima no es tomado en cuenta. En esas frecuencias la atenuación adicional a la atenuación de espacio libre o difractada está influenciada básicamente por los fenómenos de reflexiones en el suelo u otras estructuras, y por la difracción y/o obstrucción de las zonas de Fresnel.

El enlace Canal13- Punto de Medición

En la Figura 11 se resume el cálculo de enlace realizado con el SW Radio Mobile que utiliza el modelo de propagación ITM Longley-Rice en la modalidad 2-ray y condición Spot. Además utiliza las matrices de elevaciones del terreno de los archivos SRTM3 producidos por la Spaceshuttle Radar Topographic Mission que tienen una excelente resolución y precisión, tanto en el plano latitud/longitud como en el plano de las alturas s.n.m.

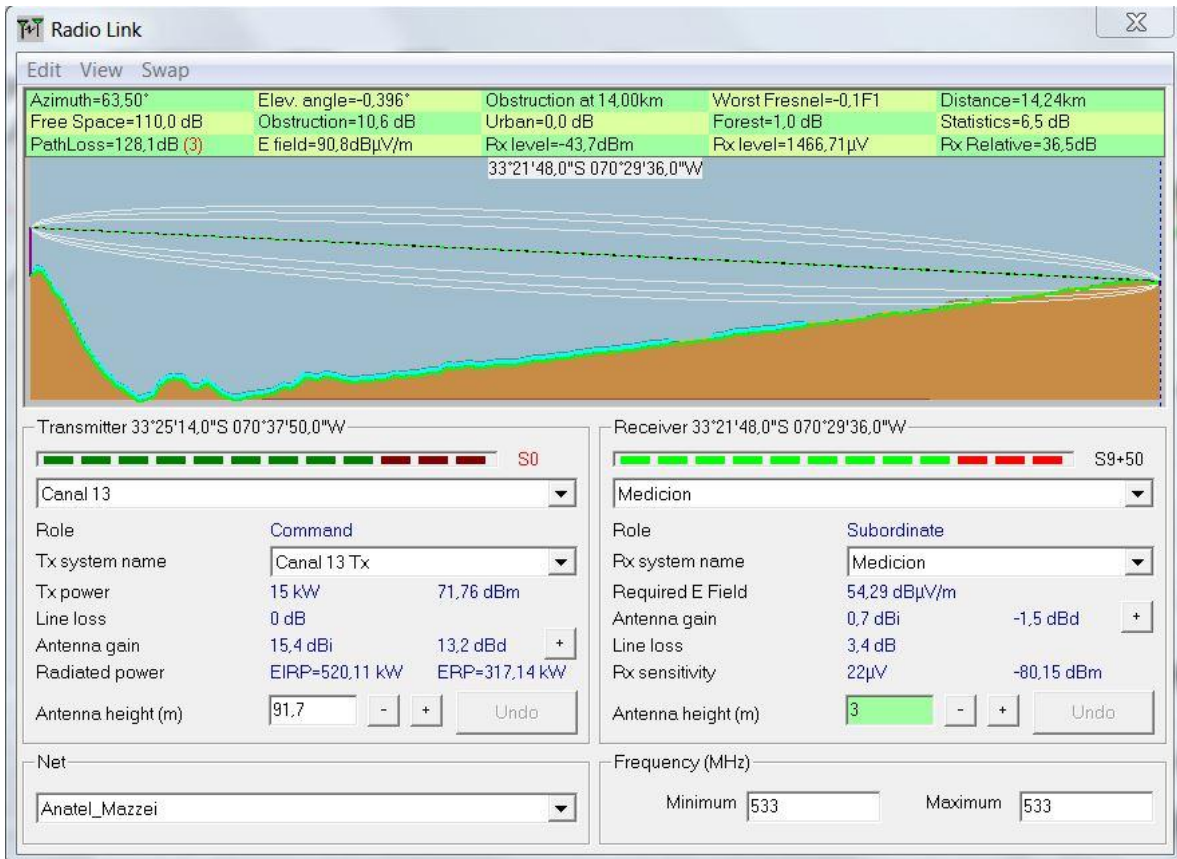


Figura 11. Cálculo del Enlace Canal13- Punto de Medición

Se puede observar que el tramo está obstruido en la 1ª zona de Fresnel. También se observa que el nivel de intensidad de campo medido difiere sensiblemente el nivel de campo calculado. Ello se debe a que los datos de la cobertura del terreno corresponden al archivo Land Cover (uso del suelo) que está disponible gratuitamente pero que tiene una bajísima resolución y no está normalmente al día en los datos de cobertura. Esto se puede observar en la Figura 12 en la cual la cobertura de la zona alta de Las Condes - Lo Barnechea aparece con un uso del suelo (clutter) correspondiente a matorrales, en condiciones que actualmente está completamente cubierto de edificios de mediana altura, precisamente en la zona en la cual el terreno, sin considerar el clutter, obstruye totalmente la primera zona de Fresnel. El error de esos datos se aprecia en la Figura 12 que constituye el mapa de cobertura fusionado sobre el mapa de elevaciones.

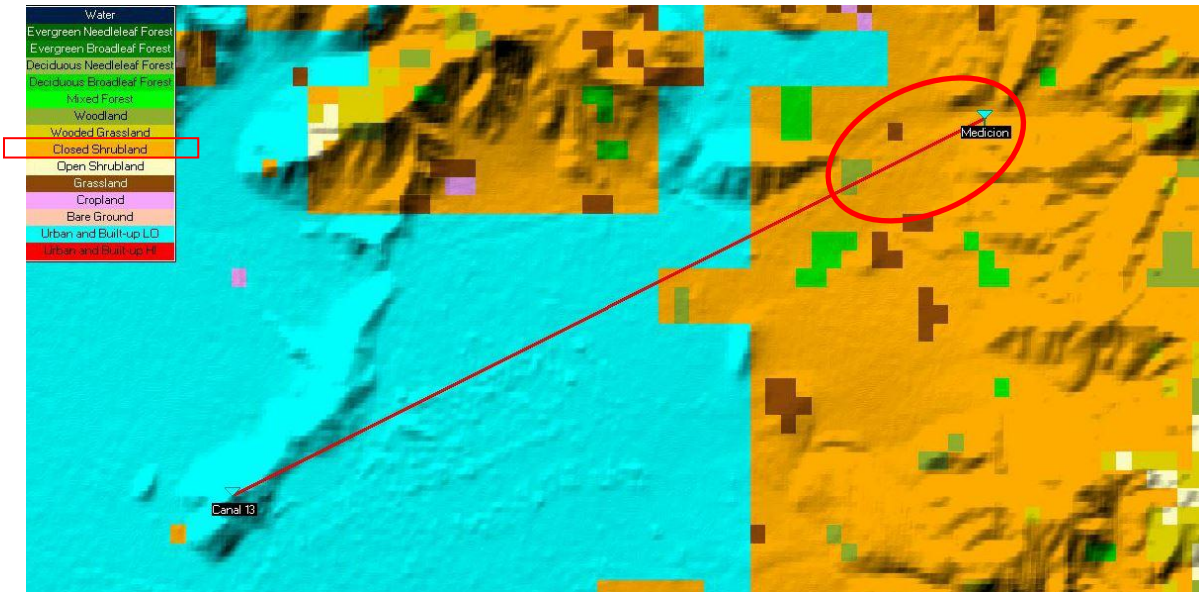


Figura 12.- Cobertura de la zona del trayecto del enlace identificada con colores

De lo anterior se desprende que una predicción de cobertura de una estación de radiodifusión sonora o televisiva que cubre una ciudad, dependerá en forma crítica de la base de datos (mapa digitalizado) de uso del suelo, independiente del modelo de predicción que se utilice. Esos mapas de uso del suelo están disponibles por empresas comerciales y su costo es proporcional (o exponencial) al nivel de precisión y detalle que se requiera.

Conclusiones

La medición demostrativa ha cumplido con la metodología definida en la recomendación SM 378-7 de la UIT y el Manual de Comprobación Técnica de Emisiones . El equipamiento utilizado es el adecuado y en el software de gestión de ellos se han introducido las correcciones correspondientes a las pérdidas de interconexión entre dispositivos o variaciones de otros parámetros dependientes de la frecuencia. El modelamiento mediante el Radio Mobile discreparía de la medición real, mayoritariamente por la carencia de una base precisa de datos de uso del suelo.

Ing. Eduardo Costoya Arrigoni
 Presidente del Consejo de Ingeniería Eléctrica
 Colegio de Ingenieros de Chile A.G.

Anexos

Anexo 1

Las mediciones realizadas, que entendemos se han hecho sobre un conjunto de 8 radiales cada uno con tres mediciones a 5, 10 y 15 km nominales; permiten formarse una idea de la cobertura de la estación, pero la utilidad que presten para validar un modelo de predicción o una comprobación de cobertura es bastante incierta.

Las mediciones en un radial de un cierto número de ubicaciones son mediciones individuales de enlaces de Radio y si se tiene un levantamiento detallado del trayecto del enlace a cada ubicación y de los elementos geográficos y constructivos que afectan a la propagación a cada una de ellas, el resultado puede ser predicho con casi absoluta precisión. Distinta es la situación de una predicción de cobertura que persiguiere predecir el nivel de señal recibido en cualquier ubicación. Es por esa razón que las zonas de cobertura están definidas por la UIT y las Administraciones, por parámetros estadísticos, que en el caso de Chile se definen como (90,50) lo cual se interpreta que del total del parque de receptores ubicados en forma aleatoria dentro del área de servicio, a lo menos el 50% de las ubicaciones deberán recibir una señal igual o superior al nivel mínimo de intensidad de campo que define el área de cobertura o zona de servicio, en el caso de Chile 51 dB μ V/m, y eso durante el 90% del tiempo o más, siendo ambas probabilidades no copulativas. En consecuencia una medición Spot, o inclusive varias de ellas, no permitiría determinar que el área de cobertura de la estación no está siendo cumplida como asimismo tampoco determinar que esa área de cobertura si está siendo cumplida. Por otra parte, el nivel de intensidad de campo no es el único criterio que determina si la señal estaría debidamente demodulada por un receptor, convirtiéndose en una imagen aceptable. La señal puede estar sobre el límite mínimo especificado de intensidad de campo pero si el MER (tasa de error de modulación) se encuentra bajo los valores aceptables, la imagen mostrará pixelación o simplemente se irá negro independiente del nivel de señal recibido.

Para solucionar el problema de la predicción del nivel de intensidad de campo las distintas Administraciones han recurrido a tres tipos de modelos que dan origen a programas de SW, la mayoría comerciales.

- Modelos empíricos. Que recurren a generar o parametrizar gráficos de muchas mediciones en una cierta área y extender su resultados a áreas de características similares. Obviamente no son extensibles con precisión en áreas de características diferentes. Ej.- UIT-R P-1546
- Modelos físico - matemáticos. Se basan en la teoría clásica de electromagnetismo que además introducen factores probabilísticos que reflejen las condiciones XX,YY (en Chile 90,50) ya explicadas. Estos modelos tienen aplicación en una gran variedad de condiciones del entorno

pero en ciertas áreas pueden ser superados por los modelos empíricos.
Ej.- ITM Longley-Rice

- Modelos mixtos. Ej S. Schumate ITM – P.1546

Existe abundante literatura de comparaciones entre modelos de un mismo tipo o de tipo distinto. Muchas veces no llegan a resultados concluyentes e inclusive contradictorios. Cabe hacer notar que todos los modelos abordan solamente la predicción de intensidad de campo y no calculan el MER, que depende básicamente de los fenómenos de multitrayectoria y/o interferencias.

Todo lo anterior aconseja que tanto la predicción de cobertura de una estación televisiva como las correspondientes mediciones, sean realizadas por personal de un nivel calificado, que conozca a cabalidad los fenómenos involucrados, a fin de implementar las acciones correspondientes a minimizar las incertezas de ambas actividades. Y esto es válido, tanto para los operadores en la planificación de sus redes como para las autoridades fiscalizadoras del cumplimiento de las condiciones de la concesión. Asimismo parece conveniente utilizar los modelos de predicción de propagación que permitan a un Ingeniero con conocimientos y experiencia la introducción de factores de corrección y no métodos totalmente automatizados.

Anexo 2.-

Los instrumentos de medición de parámetros de señales de ingreso a un receptor son básicamente voltímetros selectivos, pero no todos ellos son capaces de convertir esas mediciones a intensidad de campo o potencia recibida para una lectura directa. Los factores de conversión correspondientes aparecen en los libros pero normalmente para una impedancia de entrada de 50Ω . Esto representa un problema para mediciones en receptores de radiodifusión en 75 o 300Ω . Para este efecto se anexa a continuación un pequeño estudio realizado por el suscrito.

Conversión de Intensidad de campo (dB μ V/m) a voltaje (dB μ V) y potencia de entrada (dBm) a la entrada de un receptor

Ing. Eduardo Costoya A.

Es común encontrar en la literatura expresiones que relacionan la intensidad de campo en el **campo lejano** con el voltaje y potencia recibida en los terminales de entrada de un receptor, sin embargo, normalmente, estas expresiones son válidas **solamente** para una impedancia de carga de 50 Ω

$$E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = V_L(\text{dB}\mu\text{V}) - G_A(\text{dBi}) + 20\log F(\text{MHz}) - 29.8 \quad \text{A1}$$

$$P_L(\text{dBm}) = V_L(\text{dB}\mu\text{V}) - 107 \quad \text{A2}$$

$$P_L(\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) + G_A(\text{dBi}) - 20\log F(\text{MHz}) - 77.2 \quad \text{A3}$$

La justificación de estas fórmulas y su expresión para otras impedancias de carga se detalla a continuación

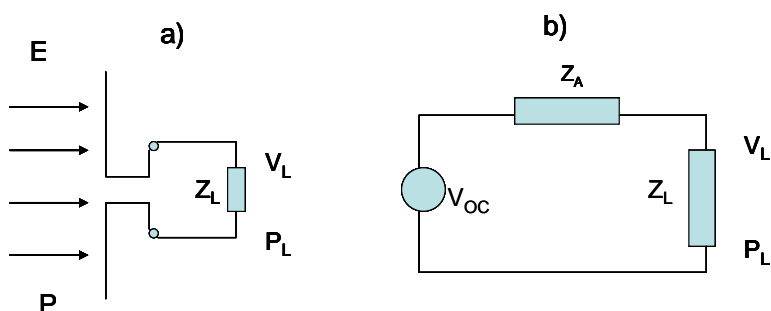


Fig. 1

La antena colocada en un campo de intensidad E (V/m) y su correspondiente densidad de potencia P (W/m^2) entrega a la carga – la entrada del receptor – de impedancia Z_L (Ω) un voltaje V_L (V) y la potencia P_L (W) Fig. 1a). El circuito equivalente se muestra en la Fig. 1 b), siendo V_{OC} el voltaje inducido en la antena sin carga.

Para efectos del cálculo se considera una antena sin pérdidas y acoplada correctamente a la carga, o sea $Z_L = Z_A$.

Comenzamos por definir un factor de antena (**Antenna Factor**) **AF**, parámetro que entregan los fabricantes de antenas calibradas utilizadas para mediciones. Inclusive entregan un gráfico del AF versus frecuencia y ganancia. (Ver al final)

$$AF = \frac{E}{V_L} \quad (1/m) \quad a1)$$

Por otra parte se define la apertura efectiva de la antena **A** como la razón entre la potencia entregada a la carga y la densidad de potencia del campo captado por la antena

$$A = \frac{P_L}{P} \quad a2)$$

$$P = \frac{E^2}{\eta_0} \quad \text{donde } \eta_0 = 120\pi \text{ Impedancia del espacio libre} \quad P_L = \frac{V_L^2}{Z_L}$$

Z_L en Ω

Luego

$$A = \frac{P_L}{E^2} \eta_0 = \frac{V_L^2}{Z_L E^2} \eta_0$$

Ordenando

$$\frac{E^2}{V_L^2} = \frac{\eta_0}{Z_L A} = AF^2 \quad a3)$$

$$AF = \sqrt{\frac{\eta_0}{Z_L A}} \quad a4)$$

De la Teoría de Antenas, relacionando la Apertura Efectiva A con la ganancia isotrópica de la antena G_A

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_A \quad a5)$$

$$AF = \sqrt{\frac{120\pi 4\pi}{Z_L \lambda^2 G_A}} = \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{480}{Z_L G_A}} \quad \lambda = \text{Longitud de onda (m)}$$

$$AF = \frac{68.8}{\lambda \sqrt{Z_L G_A}} \quad a6)$$

Expresando en función de la frecuencia F en MHz

$$AF = \frac{68.8F}{300\sqrt{Z_L G_A}}$$

$$AF = \frac{0.2293F}{\sqrt{Z_L G_A}}$$

a7)

Para 50Ω

$$AF = \frac{9.73}{\lambda\sqrt{G_A}} \quad AF = \frac{0.0324F}{\sqrt{G_A}}$$

Conversión de E dBμV/m a V_L dBμV

De a3 y a5))

$$\frac{E^2}{V_L^2} = \frac{\eta_0}{Z_L A} = \frac{120\pi 4\pi}{Z_L \lambda^2 G_A} = \frac{480\pi^2}{Z_L \lambda^2 G_A} = \frac{4.737 F^2}{Z_L 300^2 G_A} = \frac{0.0526 F^2}{Z_L G_A}$$

Expresando E en dBμV/m; V_L en dBμV

$$dB\mu V / m = dB\mu V + 20\log F - G_A (dBi) - 10\log Z_L (\Omega) - 12,8$$

a8)

Para 50Ω

$$dB\mu V / m = dB\mu V + 20\log F - G_A (dBi) - 29.8 \quad A1 \text{ demostrada}$$

Conversión de Voltaje dBμV a potencia dBm

$$P_L = \frac{V_L^2}{Z_L}$$

expresando en mW y μV

$$P_L(mW)10^{-3} = \frac{V_L^2 10^{-12}}{Z_L}$$

$$10 \log P_L(mW) - 30 = 20 \log V_L(\mu V) - 120 - 10 \log Z_L(\Omega)$$

$$dBm_L = dB\mu V_L - 10 \log Z_L - 90$$

a9)

Para $Z_L = 50\Omega$

$$dBm_L = dB\mu V_L - 107 \quad A2 \text{ demostrada}$$

Conversión de E dB $\mu V/m$ a dBm

de a8) y a9)

$$dB\mu V / m = dBm + 10 \log Z_L + 90 + 20 \log F - G_A(dBi) - 10 \log Z_L(\Omega) - 12.8$$

$$dB\mu V / m = dBm + 20 \log F - G_A(dBi) + 77.2$$

a10)

Se puede observar que la conversión de la intensidad de campo a la potencia recibida por el receptor es independiente de la impedancia de carga.

Rearreglando a10)

$$dBm = dB\mu V / m - 20 \log F + G_A (dBi) - 77.2 \quad A3 \text{ demostrada}$$

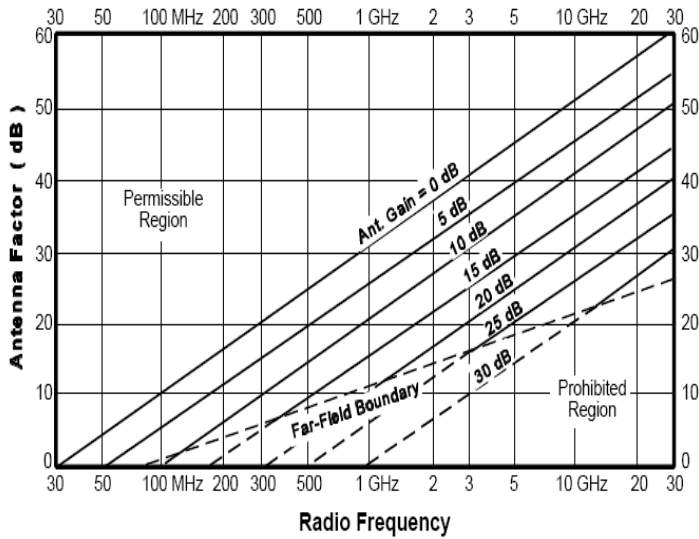


Figure 3. Antenna Factor vs Frequency for Indicated Antenna Gain

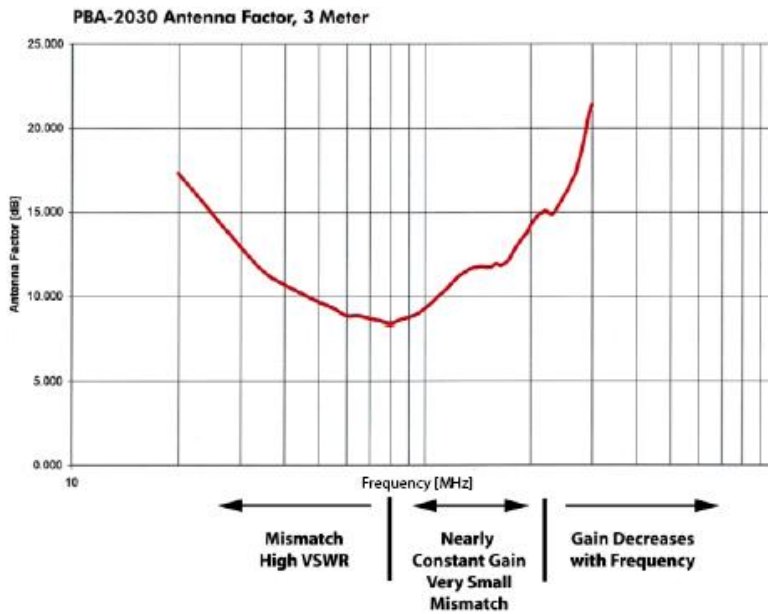


Figure 3: Antenna Factor for Typical 1.37 meter Biconical Antenna
(Data and photo courtesy of TDK RF Solutions Inc.)

Hacer doble click ara abrir el Excel

dBm = -80,0 **dBu/m** = 41,6

	TV UHF

	TV UHF	
Canal	F	<i>Dbu/m</i>
21	515	39,5
22	521	39,6
23	527	39,7
24	533	39,8
25	539	39,9
26	545	40,0
27	551	40,0
28	557	40,1
29	563	40,2
30	569	40,3
31	575	40,4
32	581	40,5
33	587	40,6
34	593	40,7
35	599	40,8
36	605	40,9
38	617	41,0
39	623	41,1
40	629	41,2
41	635	41,3
42	641	41,4
43	647	41,4
44	653	41,5
45	659	41,6
46	665	41,7
47	671	41,8
48	677	41,8
49	683	41,9
50	689	42,0
51	695	42,1