3. Resultados de Simulaciones y Mediciones

En este capítulo se muestran los resultados de las diferentes simulaciones desarrolladas con los software Xirio-Online e ICS Telecom realizadas para la selección del modelo de propagación que más se ajuste al entorno metropolitano de Bogotá. También se muestran los resultados obtenidos en los 20 puntos de medición y el resultado de las mediciones de Drive Test.

3.1 Resultado de las Simulaciones con Xirio-Online con el modelo de propagación ITU-526

A continuación se muestras los resultados de cobertura obtenidos en las simulaciones realizadas del trasmisor de CCNP con los parámetros descritos en la sección 2.3.2, como los dos multiplex utilizan un sistema radiante de las mismas características y están en canal adyacente, se realizó únicamente la simulación del multiplex del canal 15 tanto para recepción fija como en recepción portable indoor.

Figura 3-1 Cobertura Recepción Fija del Transmisor CCNP Canal 15 con receptores a 10m

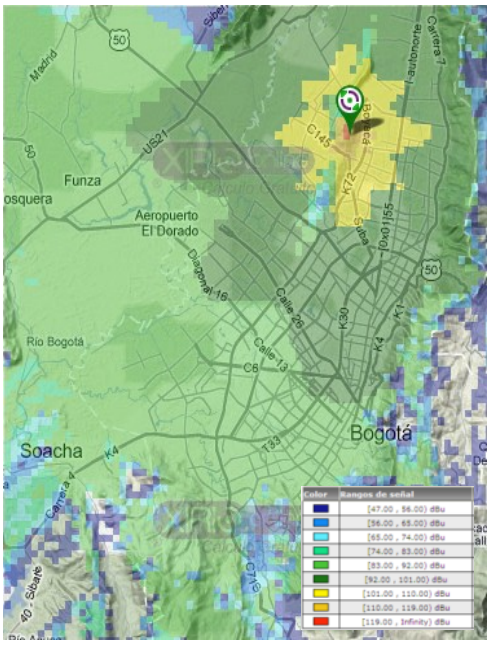


Figura 3-2 Cobertura Recepción Fija del Transmisor CCNP Canal 15 con receptores a 3m

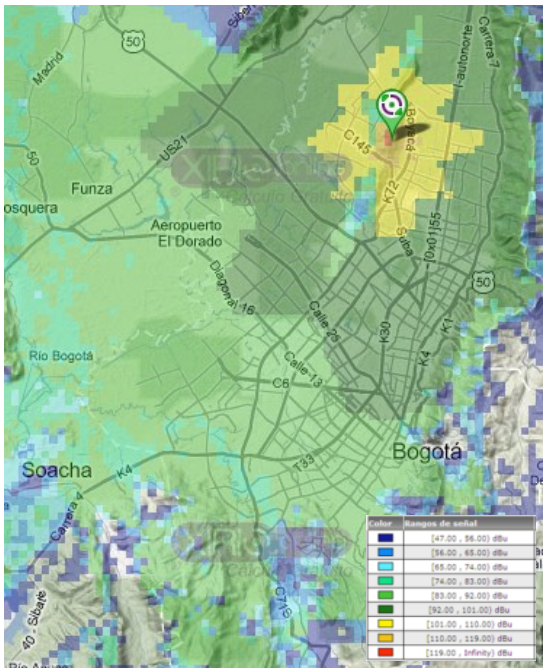
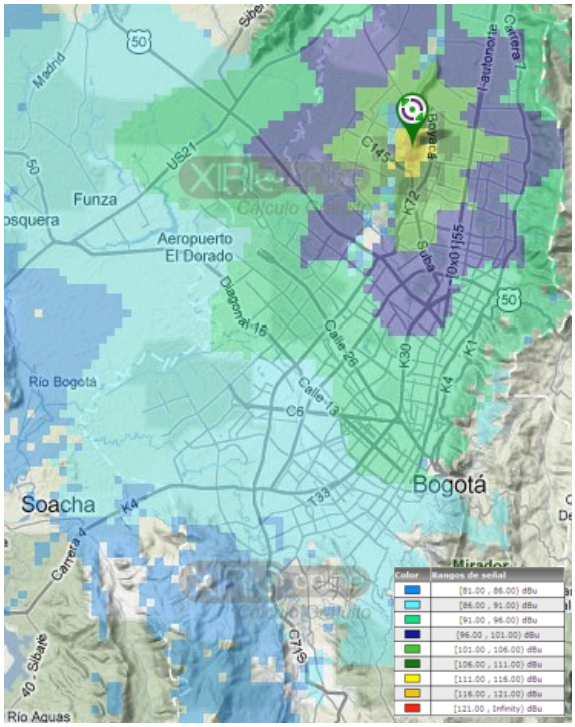


Figura 3-3 Cobertura Recepción Portable Indoor del Transmisor CCNP Canal 15



3.2 Resultado de las Simulaciones con ICS Telecom con los modelos elegidos

Los resultados de cobertura fueron obtenidos utilizando los parámetros descritos en la sección 2.3.3, como los dos multiplex utilizan un sistema radiante de las mismas características y están en canal adyacente, se realizó únicamente la simulación del multiplex del canal 15 tanto para recepción fija como en recepción portable indoor.

3.2.1 Modelo de Fresnel

Para el desarrollo de estas simulaciones el método de cálculo se configuro de la siguiente manera: Para las pérdidas de espacio libre se utilizo el Modelo Fresnel, para la Difracción Geométrica el método Deygout 94 y para la atenuación "Subpath attenuatiuon" el método "Coarse Integration". Para los receptores se utilizo una antena isotrópica, se realizaron dos simulaciones, una con los receptores ubicados a una altura de 3m y otra con los receptores ubicados a 10m sobre el nivel del terreno. Los resultados de las simulaciones se muestran a Continuación:

Figura 3-4 Cobertura Estación CCNP, Modelo de Propagación Fresnel. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.

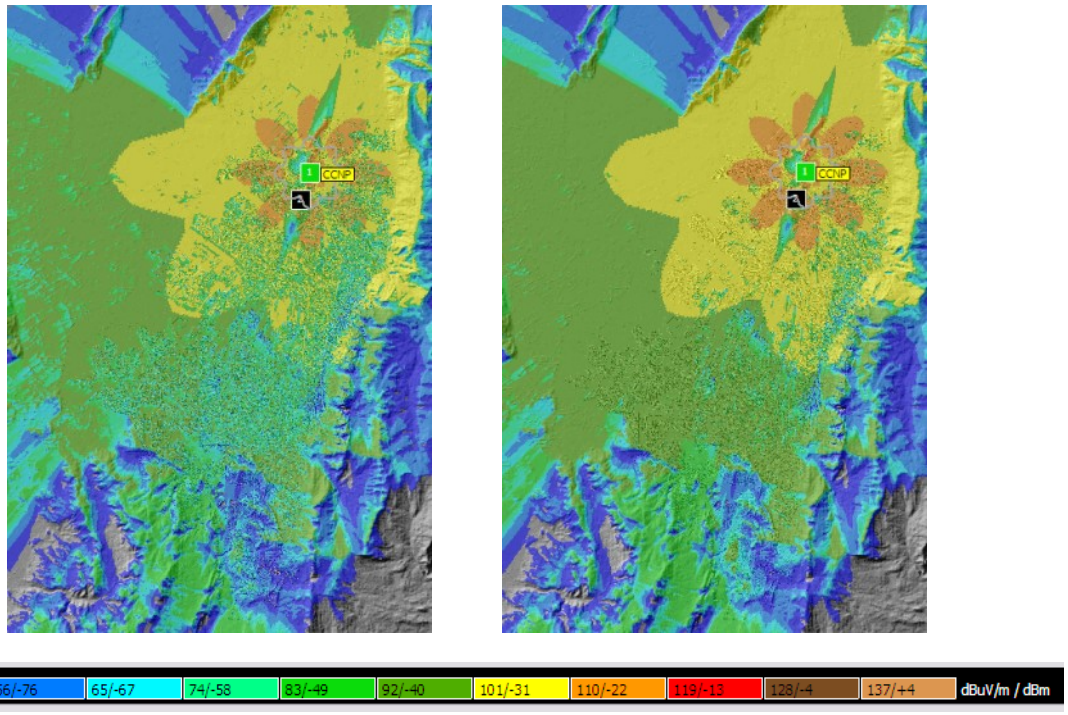
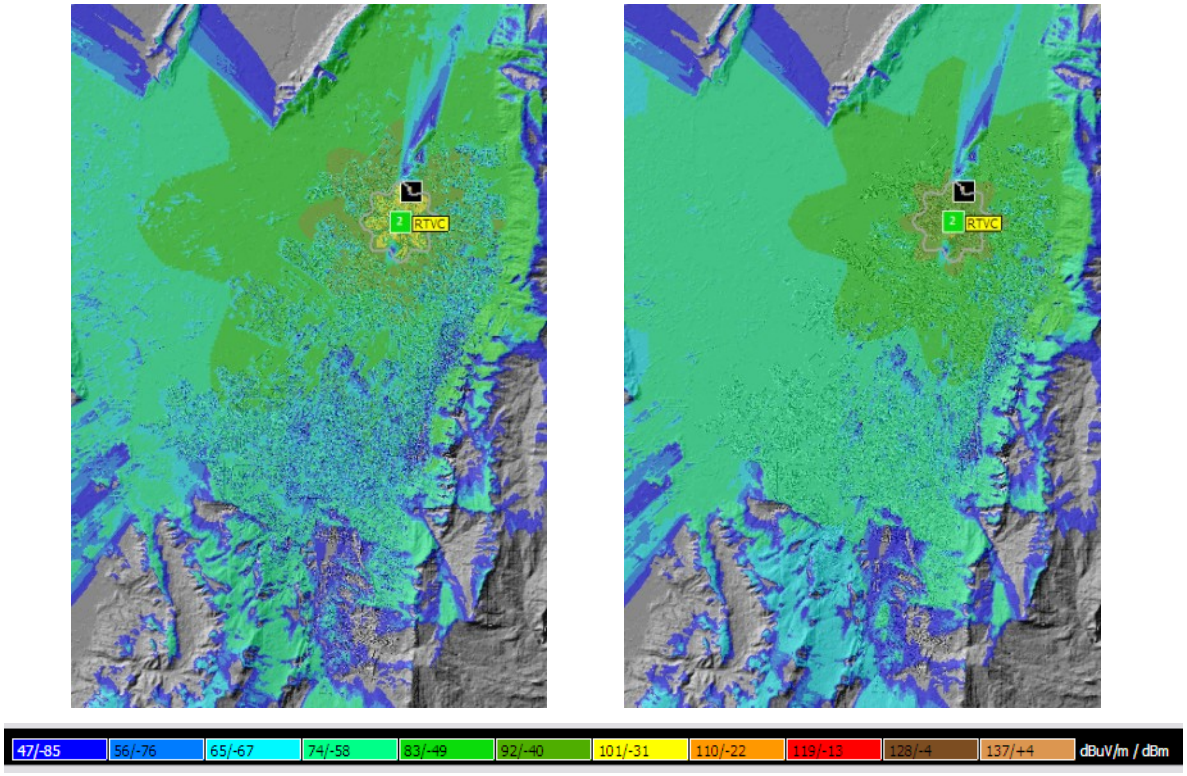


Figura 3-5 Cobertura Estación RTVC, Modelo de Propagación Fresnel. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.



3.2.2 Modelo ITU-R 525

Para el desarrollo de estas simulaciones el método de cálculo se configuro de la siguiente manera: Para las pérdidas de espacio libre se utilizo el Modelo ITU-R 525, para la Difracción Geométrica el método Deygout94 y para la atenuación "Subpath attenuatiuon" el método "Standard". Para los receptores se utilizo una antena isotrópica, se realizaron dos simulaciones, una con los receptores ubicados a una altura de 3m y otra con los receptores ubicados a 10m sobre el nivel del terreno. Los resultados de las simulaciones se muestran a Continuación:

Figura 3-6 Cobertura Estación CCNP, Modelo de Propagación ITU-525. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.

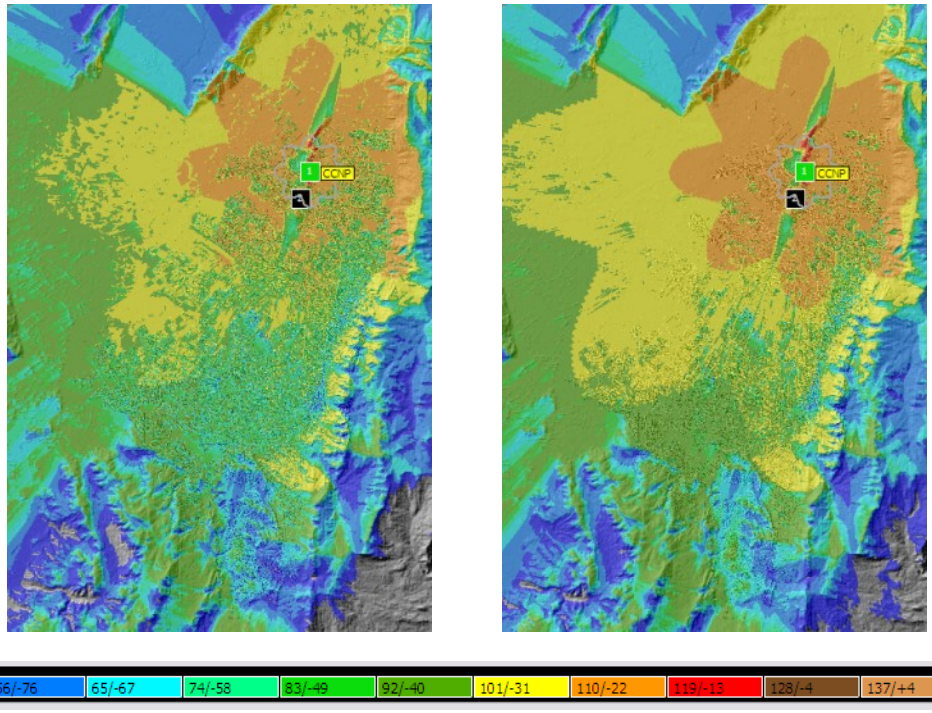
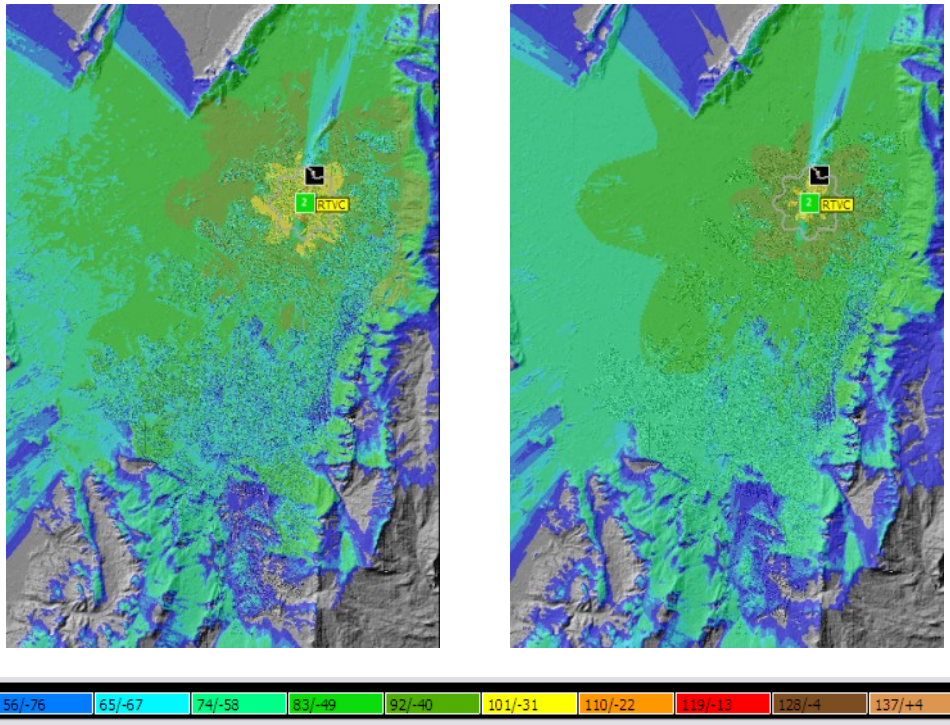


Figura 3-7 Cobertura Estación RTVC, Modelo de Propagación ITU-525. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.



3.2.3 Modelo ITU-R 526

Para el desarrollo de estas simulaciones el método de cálculo se configuro de la siguiente manera: Para las pérdidas de espacio libre se utilizo el Modelo ITU-R 526, para la Difracción Geométrica el método ITU 526-Deygout94 y para la atenuación "Subpath attenuatiuon" el método "ITU-R 526". Para los receptores se utilizo una antena isotrópica, se realizaron dos simulaciones, una con los receptores ubicados a una altura de 3m y otra con los receptores ubicados a 10m sobre el nivel del terreno. Los resultados de las simulaciones se muestran a Continuación:

Figura 3-8 Cobertura Estación CCNP, Modelo de Propagación ITU-526. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.

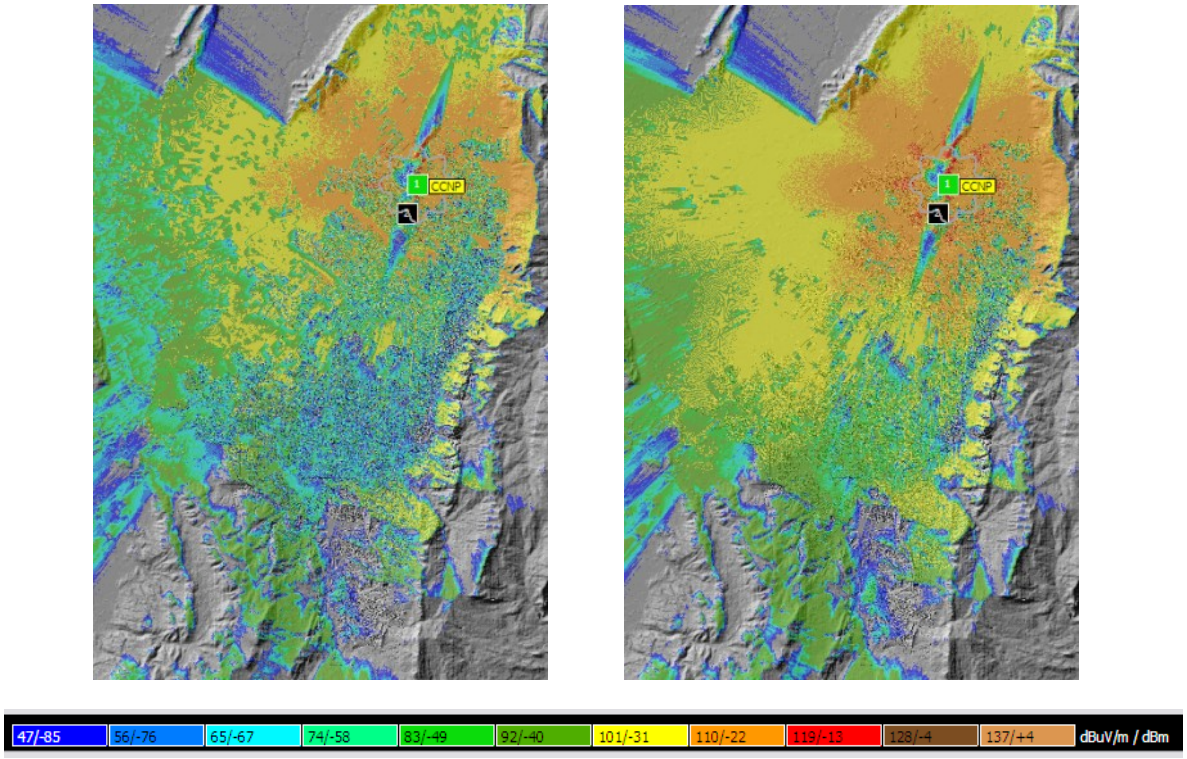
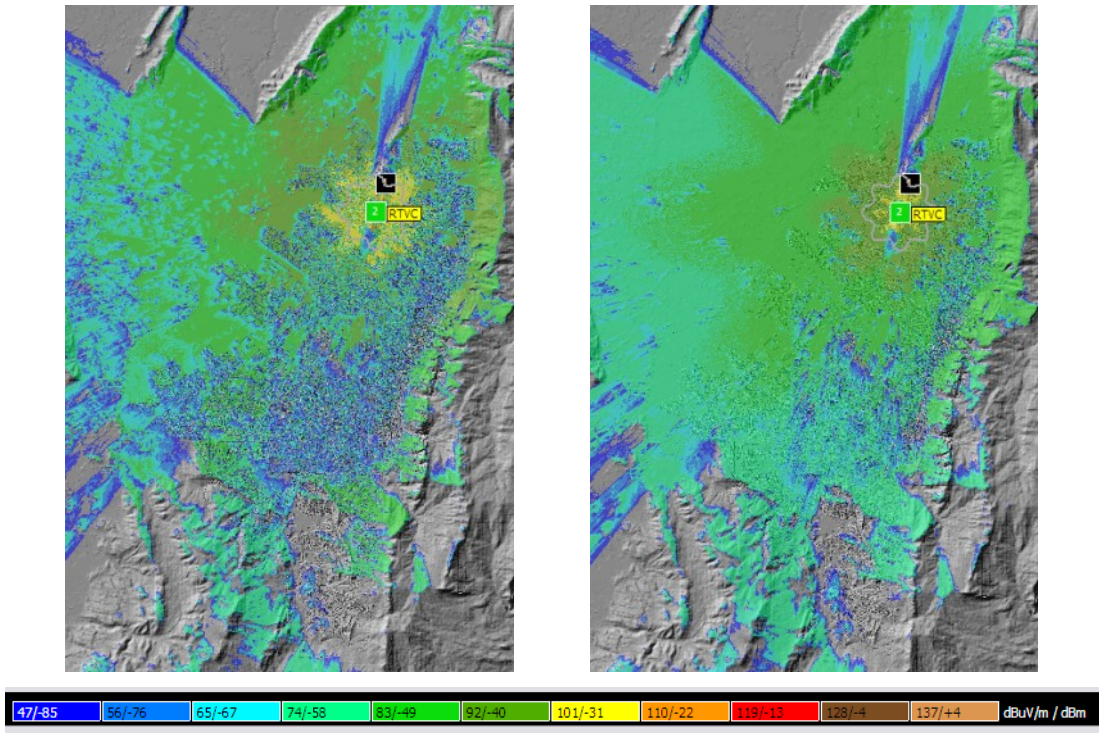


Figura 3-9 Cobertura Estación RTVC, Modelo de Propagación ITU-526. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.



3.2.4 Modelo Okumura - Hata

Para el desarrollo de estas simulaciones el método de cálculo se configuro de la siguiente manera: Para las pérdidas por propagación se utilizo el modelo de propagación Okumura-Hata para Zonas Urbanas, para la Difracción Geométrica el método Deygout94 y para la atenuación "Subpath attenuatiuon" el ítem "No Subpath loss". Para los receptores se utilizo una antena isotrópica, se realizaron dos simulaciones, una con los receptores ubicados a una altura de 3m y otra con los receptores ubicados a 10m sobre el nivel del terreno. Los resultados de las simulaciones se muestran a Continuación:

Figura 3-10 Cobertura Estación CCNP, Modelo de Propagación Okumura-Hata. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.

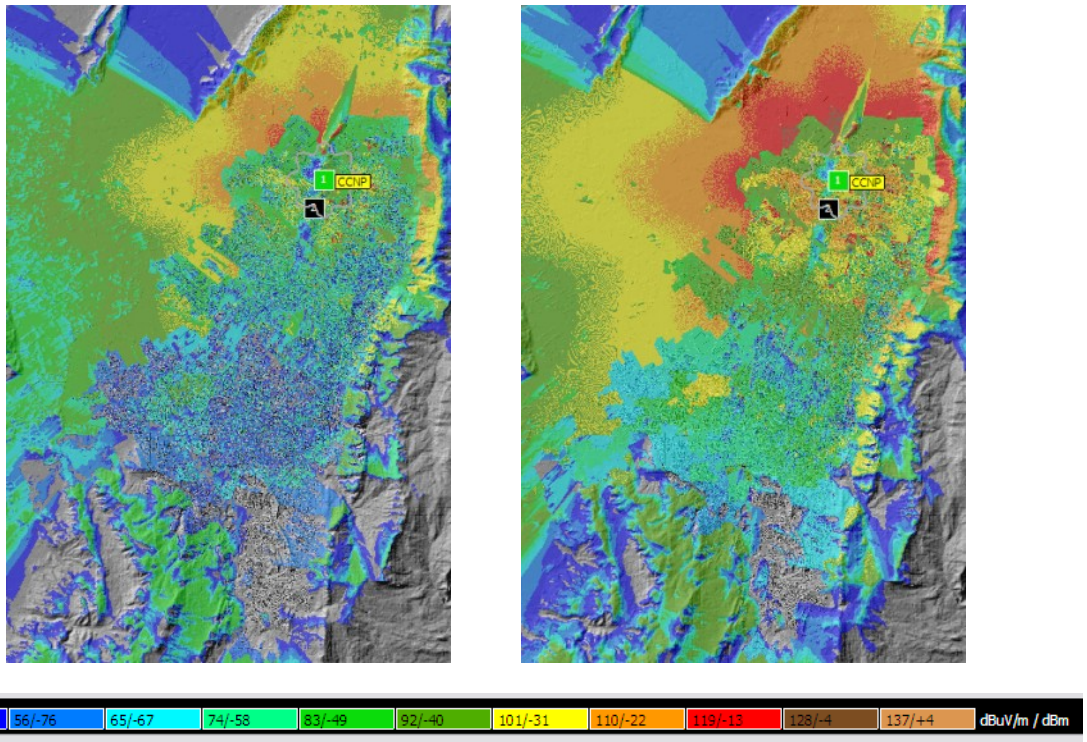
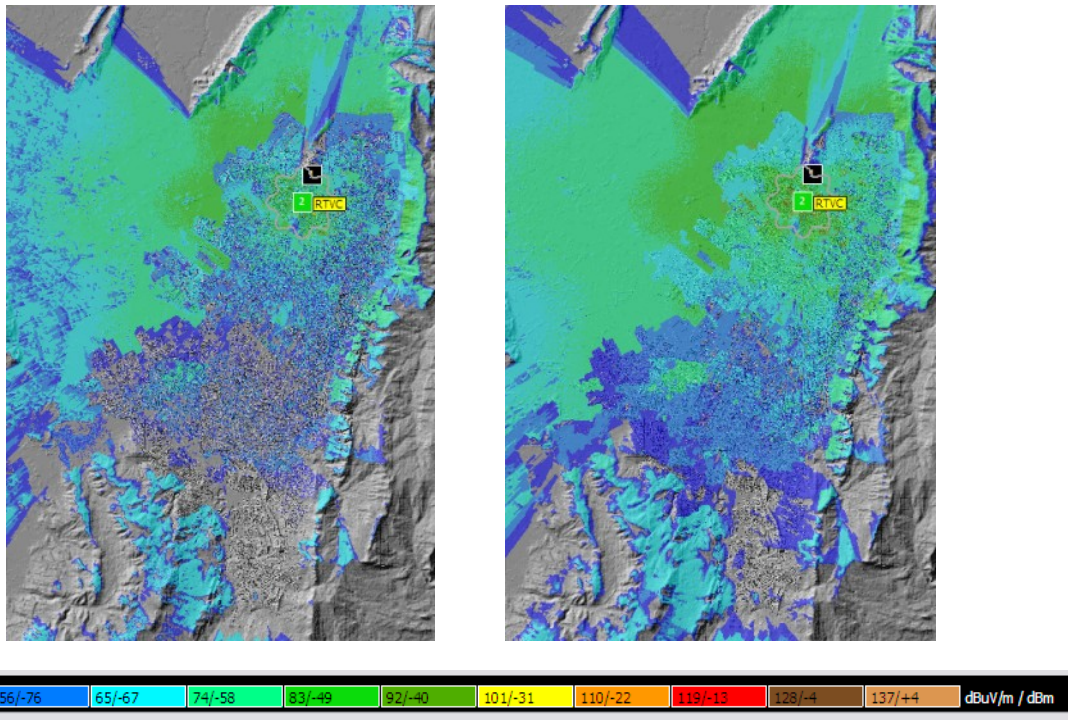


Figura 3-11 Cobertura Estación RTVC, Modelo de Propagación Okumura-Hata. Izquierda: Receptores ubicados a 3m, Derecha: Receptores ubicados a 10m.



3.3 Resultado de las mediciones

3.3.1 Mediciones Fijas - 20 Puntos de Medición

En la Tabla 3-1 se muestra el lugar de medición, canal medido, altura de medición, frecuencia inicial y final de la señal, ancho de banda, potencia máxima, potencia máxima isotrópica y la intensidad de campo eléctrico.

Teniendo en cuanta que en la Tabla 3-1 se indican diferentes formas de la potencia registra, a continuación se describe el significado de cada una de ellas.

- **Potencia máxima**

Corresponde al valor de potencia registrado por el elemento utilizado para la medición, sin considerar la respuesta en frecuencia de los dispositivos empleados (Analizador de espectros, Antena y cable) [36].

- **Potencia máxima isotrópica**

Corresponde al valor de potencia registrado por el elemento utilizado para la medición, considerando la respuesta en frecuencia de los dispositivos empleados. (Analizador de espectros, Antena y cable) [36].

$$POT_{Max\ Iso}(dBm) = POT_{Max} + L_{Cable} - G_{Ant} \tag{3-1}$$

- **Potencia máxima isotrópica normalizada**

Corresponde al valor de potencia registrado por el elemento utilizado para la medición, considerando la respuesta en frecuencia de los dispositivos empleados y adicionando un factor de corrección mostrado en la ecuación 3-2, que corresponde a la normalización de la potencia registrada teniendo en cuenta el ancho de banda de la señal y el ancho de banda del filtro de RBW utilizado en el analizador de espectros para la medición [36].

$$POT_{Iso.Norm.}(dBm) = POT_{Max\ Iso} + 10\log(\frac{BW}{RBW}) \tag{3-2}$$

- **Intensidad de campo eléctrico**

Corresponde al valor de Intensidad de campo eléctrico registrado en el punto de medición [58].

$$E(dBuV/m) = POT_{Max\ Iso} + 20\log(fc) + 77 \tag{3-3}$$

Donde:

fc = Frecuencia central del canal en MHz

Tabla 3-1. Resultado de las mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico – 20 Puntos

Sitio	Canal	Altura de Medición	Frecuencia Inicial (MHz)	Frecuencia Final (MHz)	Ancho de Banda (MHz)	Potencia Máxima (MHz)	Potencia Máxima Isotrópica (dBmi)	Potencia Máxima Isotropica Normalizada (dBmi)	Intensidad de campo eléctrico (dBuV/m)
Universidad Distrital Sede Tecnológica	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-71.9	-74.2	-51.3	56.5
		10	470.1	476.0	6.0	-60.6	-63.0	-40.0	67.7
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-75.3	-77.6	-54.7	53.2
		10	476.1	482.0	5.9	-65.0	-67.3	-44.4	63.5
Colegio Fernando González Ochoa	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-86.1	-88.4	-65.6	42.3
		10	470.2	476.0	5.8	-79.4	-81.7	-58.8	49.0
	CH 15	3	476.1	481.9	5.8	-84.2	-86.5	-63.6	44.3
		10	476.1	482.0	5.8	-78.2	-80.5	-57.6	50.4
Colegio Altamira S.O.	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-84.6	-87.0	-64.1	43.7
		10	470.1	476.0	6.0	-71.5	-73.8	-50.9	56.9
	CH 15	3	476.1	481.9	5.8	-83.2	-85.6	-62.7	45.3
		10	476.1	482.0	5.9	-70.0	-72.3	-49.3	58.5
Centro Comercial Caracas	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-99.5	-101.9	-79.0	28.8
		10	470.3	476.0	5.7	-87.4	-89.7	-66.9	41.0
	CH 15	3	476.1	481.9	5.8	-99.5	-101.9	-79.0	28.9
		10	476.1	482.0	5.8	-92.1	-94.4	-71.5	36.4
Colegio José Félix Restrepo	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-74.9	-77.3	-54.4	53.4
		10	470.1	476.0	6.0	-61.2	-63.5	-40.5	67.2
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-76.3	-78.6	-55.7	52.2
		10	476.1	482.1	6.0	-58.9	-61.2	-38.2	69.6
Terraza Calle 26 con Avenida Boyacá	CH 14	3	470.0	476.0	6.0	-54.7	-57.0	-34.0	73.7
		10	470.0	476.0	6.0	-52.8	-55.1	-32.1	75.6
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-57.0	-59.3	-36.3	71.5
		10	476.1	482.0	6.0	-55.3	-57.6	-34.6	73.2
Carrefour Bosa	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-73.7	-76.0	-53.1	54.7
		10	476.1	482.0	5.9	-74.3	-76.5	-53.6	54.3
	CH 15	3	470.1	476.0	5.9	-64.1	-66.4	-43.4	64.3
		10	476.1	482.0	5.9	-64.8	-67.2	-44.2	63.6
Centro Comercial Tintal Plaza	CH 14	3	470.0	476.1	6.0	-57.5	-59.8	-36.8	70.9
		10	470.1	476.0	6.0	-56.0	-58.3	-35.3	72.4
	CH 15	3	476.1	482.0	6.0	-58.4	-60.7	-37.7	70.1
		10	476.1	482.0	5.9	-56.5	-58.8	-35.8	72.0
Glorieta Calle 3 con Carrera 50	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-73.3	-75.6	-52.7	55.1
		10	470.1	476.0	5.9	-63.4	-65.7	-42.7	65.0
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-72.6	-74.9	-52.0	55.9
		10	476.1	482.0	5.9	-63.9	-66.2	-43.2	64.7
Villa del Rosario	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-88.2	-90.6	-67.7	40.1
		10	470.1	476.0	6.0	-62.7	-65.1	-42.1	65.6
	CH 15	3	476.2	481.9	5.8	-88.9	-91.2	-68.4	39.6
		10	476.1	482.0	5.9	-63.6	-66.0	-43.0	64.9
Universidad Nacional	CH 14	3	470.2	476.0	5.8	-75.4	-77.7	-54.8	53.0
		10	470.1	476.0	5.8	-67.8	-70.1	-47.2	60.6
	CH 15	3	476.1	481.9	5.8	-78.9	-81.2	-58.3	49.6
		10	476.1	482.0	5.9	-68.7	-71.0	-48.0	59.8
Portal 80	CH 14	3	470.1	476.0	6.0	-57.8	-60.0	-37.0	70.7
		10	470.0	476.0	6.0	-47.5	-49.7	-26.7	81.0
	CH	3	476.1	482.0	5.9	-54.8	-57.2	-34.3	73.6

Sitio	Canal	Altura de Medición	Frecuencia Inicial (MHz)	Frecuencia Final (MHz)	Ancho de Banda (MHz)	Potencia Máxima (MHz)	Potencia Máxima Isotrópica (dBmi)	Potencia Máxima Isotropica Normalizada (dBmi)	Intensidad de campo eléctrico (dBuV/m)
	15	10	476.1	482.0	6.0	-48.6	-50.8	-27.8	80.0
Cafam Floresta	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-66.1	-68.5	-45.5	62.2
		10	470.1	476.0	5.9	-48.1	-50.4	-27.5	80.3
	CH 15	3	476.1	482.0	6.0	-64.0	-66.4	-43.4	64.4
		10	476.1	482.0	5.9	-49.5	-51.8	-28.9	79.0
Aeropuerto	CH 14	3	470.0	476.0	6.0	-51.0	-53.3	-30.3	77.4
		10	470.1	476.0	5.9	-46.0	-48.3	-25.3	82.4
	CH 15	3	476.1	482.0	6.0	-54.2	-56.5	-33.5	74.3
		10	476.1	482.1	6.0	-46.8	-49.1	-26.1	81.7
Éxito Fontibón	CH 14	3	470.1	476.0	6.0	-58.6	-60.8	-37.8	69.9
		10	470.0	476.0	6.0	-51.8	-54.1	-31.1	76.6
	CH 15	3	476.1	482.0	6.0	-59.6	-61.9	-38.9	68.9
		10	476.1	482.1	6.0	-52.9	-55.2	-32.2	75.6
Centro Comercial Santafé	CH 14	3	470.1	476.0	6.0	-43.1	-45.4	-22.4	85.3
		10	470.0	476.0	6.0	-36.3	-38.6	-15.5	92.1
	CH 15	3	476.1	482.1	6.0	-43.6	-45.9	-22.9	84.9
		10	476.1	482.1	6.0	-36.8	-39.1	-16.1	91.7
Éxito Colina	CH 14	3	470.1	476.0	6.0	-37.9	-40.2	-17.2	90.5
		10	470.0	476.1	6.0	-42.8	-45.1	-22.0	85.6
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-42.1	-44.4	-21.5	86.4
		10	476.1	482.0	5.8	-43.5	-45.8	-22.9	85.0
Parque Cedritos	CH 14	3	470.0	476.0	6.0	-51.3	-53.6	-30.6	77.1
		10	470.0	476.0	6.0	-43.3	-45.5	-22.5	85.2
	CH 15	3	476.1	482.1	6.0	-49.2	-51.5	-28.5	79.3
		10	476.1	482.0	6.0	-43.7	-46.0	-23.0	84.8
Parque Nacional	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-80.1	-82.3	-59.4	48.4
		10	470.2	476.0	5.8	-80.1	-82.4	-59.5	48.3
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-79.6	-81.9	-58.9	48.9
		10	476.1	481.9	5.8	-80.9	-83.2	-60.4	47.6
Parque Virrey	CH 14	3	470.1	476.0	5.9	-62.5	-64.8	-41.9	65.9
		10	470.1	476.0	6.0	-59.9	-62.2	-39.2	68.5
	CH 15	3	476.1	482.0	5.9	-62.6	-64.9	-41.9	65.9
		10	476.1	482.0	6.0	-61.6	-63.9	-40.9	66.9

3.3.2 Drive Test

En la Figura 3-12 se muestra el recorrido total de las mediciones de Drive Test realizadas, los colores en el recorrido indican el valor de potencia recibida en cada punto.

Figura 3-12 Resultados de las Mediciones de Drive Test

Se tomaron un total de 2722 puntos de medición, en la Tabla 3-2 se muestran 10 puntos de medición tomados en el recorrido de la calle 26.

Tabla 3-2. Muestra puntos de medición Drive Test

No	Latitud(Y)	Longitud(X)	Potencia (dBm)	Velocidad (Km/h)
1	4.66307	-74.11722	-70.68	21
2	4.66348	-74.11755	-72.00	28
3	4.66367	-74.11772	-75.32	34
4	4.66393	-74.11795	-75.74	25
5	4.66447	-74.11843	-72.09	25
6	4.66468	-74.11858	-70.05	17
7	4.66527	-74.11825	-69.12	23
8	4.66545	-74.11803	-71.93	26
9	4.66567	-74.11807	-72.59	19
10	4.66605	-74.11837	-73.66	25

Notas:
-Las coordenadas se encuentran en Datum WGS-84.