

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES Y REDES



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una
estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023

Línea de Investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Araujo García, Jhonson Hailer,

Mantilla Flores, Julio César

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Llanos León, Lenin Humberto

Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

Trujillo - Perú

2024

Fecha de sustentación: 2024/02/15

Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023

por Jhonson Hailer, Araujo García



Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Fecha de entrega: 29-dic-2023 09:10p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2265580898

Nombre del archivo: Tesis_ARAUJO-MANTILLA_29-12-23.docx (12.18M)

Total de palabras: 11984

Total de caracteres: 62426

Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

5% INDICE DE SIMILITUD	6% FUENTES DE INTERNET	1% PUBLICACIONES	0% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	www.docstoc.com Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	core.ac.uk Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo


Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo


Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

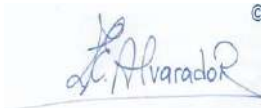
Jurado de sustentación Oral



Ms. Ing. AZABACHE FERNÁNDEZ FILIBERTO
N° CIP 97916
Presidente



Ing. LLANOS LEÓN LENIN HUMBERTO
N° CIP 139213
Secretario



Ms. Ing. ALVARADO RODRÍGUEZ LUIS ENRIQUE
N° CIP 149200
Vocal

Entregado el:



ARAUJO GARCÍA JHONSON HAILER.
DNI 70235148

Aprobado por:



MANTILLA FLORES JULIO CÉSAR.
DNI 73672698



Ms. Ing. CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER
CIP N° 80252
Asesor

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES Y REDES



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una
estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023

Línea de Investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Araujo García, Jhonson Hailer,
Mantilla Flores, Julio César

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Llanos León, Lenin Humberto
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

Trujillo - Perú

2024

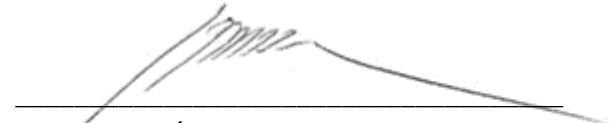
Fecha de sustentación: 2024/02/15

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada **“Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023”**, de los autores ARAUJO GARCÍA, JHONSON HAILER y MANTILLA FLORES, JULIO CÉSAR.


- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 5%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 29 de diciembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023”** y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo 29 de diciembre del 2023.




CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER
DNI: 18216463

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>



ARAUJO GARCÍA JHONSON HAILER.
DNI 70235148



MANTILLA FLORES JULIO CÉSAR.
DNI 73672698

DEDICATORIAS

Con cariño y gratitud a Dios y a mis padres (Dionicia y Timoteo) quienes en vida me apoyaron y fueron mi soporte fundamental de mi superación profesional y desarrollo como persona. A mis hermanos que me apoyaron en momentos difíciles. A mi compañera de vida (Cecilia) y mi hijo (Liam) por ser mi mayor motivación para seguir adelante, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Jhonson Araujo.

Al Todopoderoso por haber permitido estar aquí y darme unos excelentes padres quienes luchan día a día por el bienestar de sus hijos, y porque sin ellos no sería lo que yo soy, es un orgullo y privilegio ser su hijo, los amo. a ellos se suma este logro, quiénes me enseñaron a ser el mejor como hijo, hermano, padre y profesional.

Cesar Mantilla.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar nuestros pasos y brindarnos bienestar y firmeza de seguir mejorando, superando las diversas dificultades que se presentan en esta vida y que nos permitió llegar, hoy hasta aquí.

A nuestros progenitores por enseñarnos desde la práctica valores y comprendernos en los momentos más difíciles que nos ha tocado vivir hasta el momento y ser parte de nuestras decisiones.

A la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por la acogida y formación que nos brido durante los cinco años de formación profesional, hecho con mucho esmero, responsabilidad y sobre todo brindándonos una enseñanza de calidad.

A los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, quienes nos brindaron sabias enseñanzas y experiencias que fueron muy valiosos para nuestra formación profesional y gracias a ello seguimos avanzando en el campo profesional, muchas gracias.

A nuestro asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por brindarnos su apoyo incondicional en la realización y finalización del trabajo de investigación, por su perseverancia y entrega; y sobre todo por ser un buen profesor y habernos brindado sus conocimientos científicos en las diversas asignaturas a través de nuestra formación profesional.

RESUMEN

La presente investigación estuvo enfocada a describir el comportamiento de la señal downlink en una frecuencia de 700 MHz al variar mediante simulación el ángulo RET downtilt en una estación celular del distrito de Florencia de Mora, provincia de Trujillo, Perú. Para ello se tomaron como 40 puntos referenciales de recepción de usuarios distribuidos en los 03 sectores de la estación base. La asignación del sector de servicio se realizó por el mayor nivel de señal proveniente de los 03 sectores de cobertura. Los niveles de señal fueron clasificados de acuerdo a su intensidad, identificándose la tendencia de aumento de señal asociada al incremento de RET downtilt. Los resultados favorecieron al sector 02, con 83% de puntos en rango alto de señal y 100% de variabilidad favorable, seguido del sector 03 con 86% de rango alto y 80% de variabilidad favorable, finalmente el sector 01 con 56% de rango alto y 50% de variabilidad favorable. La evaluación de los niveles de señal y geografía de la zona de cobertura permitió recomendar rangos de valores RET downtilt que favorezcan a los diferentes sectores.

Palabras clave: downlink, downtilt, RET, señal recepción, niveles, variabilidad

ABSTRACT

The present investigation was focused on describing the behavior of the downlink signal at a frequency of 700 MHz by varying the RET downtilt angle through simulation in a cellular station in the district of Florencia de Mora, province of Trujillo, Peru. For this, 40 user reception reference points distributed in the 03 sectors of the base station were taken. The assignment of the service sector was made due to the highest signal level coming from the 03 coverage sectors. The signal levels were classified according to their intensity, identifying the trend of signal increase associated with the increase in RET downtilt. The results favored sector 02, with 83% of points in high signal range and 100% favorable variability, followed by sector 03 with 86% high range and 80% favorable variability, finally sector 01 with 56% range. high and 50% favorable variability. The evaluation of the signal levels and geography of the coverage area made it possible to recommend ranges of RET downtilt values that favor the different sectors.

Keywords: downlink, downtilt, RET, reception signal, levels, variability

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De acuerdo y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno del Programa de Estudios de Ingeniería Electrónica para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, dejamos a vuestra disposición el presente Trabajo de Investigación titulado: **“Estudio de la señal downlink 700 MHz mediante simulaciones de variación RET en una estación celular, Florencia de Mora, Trujillo-2023”**.

Esta investigación, es producto de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, los cuales nos facilitaron la realización de nuestro trabajo de investigación.

Señores miembros del jurado esperamos que el presente trabajo de investigación se ajuste a las exigencias establecidas por nuestra universidad y merezca su aprobación.

Trujillo, diciembre del 2023

Br. Jhonson Hailer Araujo García.

Br. Julio César Mantilla Flores.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN:	13
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	14
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.3. MARCO CONCEPTUAL	28
2.4. HIPÓTESIS.....	29
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO CATEGÓRICAS	29
3. METODOLOGÍA EMPLEADA	32
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	33
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.5. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	43
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	70
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.2. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS.....	78
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
6. CONCLUSIONES	82
7. RECOMENDACIONES	83
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona muerta (sin cobertura) o negro bajo la torre	21
Figura 2. Esquema de downtilt en una estación base	22
Figura 3. Alcance y cobertura según inclinación de la antena.....	23
Figura 4. Diagrama de radicación del downtilt mecánico	24
Figura 5. Ajuste de Tilt mecanico	24
Figura 6. Ángulo de Downtilt y Beamwidth de la estación base celular	25
Figura 7. Diseño básico de un sistema RET de Commscope.....	26
Figura 8. Interferencia cocanal entre estaciones base cercanas.....	27
Figura 9. Vista satelital de la zona de interés	35
Figura 10. Edificaciones del distrito Florencia de Mora	36
Figura 11. EBC “22 de setiembre”	37
Figura 12. Rango de frecuencias banda 700MHz	38
Figura 13. Punto de ruta del drive test en el distrito de Florencia de Mora.....	39
Figura 14. DBS BBU3900 de Huawei – RRU3900	40
Figura 15. Datos técnicos de la antena sectorial ASI4517R1.....	41
Figura 16. Detalle del patrón de radiación de la antena ASI4517R1	43
Figura 17. Patrón de elevación y azimut estación móvil usuario.	44
Figura 18.	60
Figura 19.	65
Figura 20.	66
Figura 21.	67
Figura 22.	73
Figura 23.	74
Figura 24.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre Tilt mecánico y Tilt eléctrico.....	26
Tabla 2. Operacionalización de la Variable Independiente	30
Tabla 3. Operacionalización de la Variable Dependiente	31
Tabla 4. Datos técnicos del equipo transceptor RRU 3900 de la marca Huawei.	41
Tabla 5. Datos técnicos de Estación móvil.....	42
Tabla 6. Reporte de señal para diferentes grados de downtilt para sector 1...	47
Tabla 7. Reporte de señal para diferentes grados de downtilt para sector 2. ...	48
Tabla 8. Reporte de señal para diferentes grados de downtilt para sector 3. ...	49
Tabla 9.	55
Tabla 10.	56
Tabla 11.	62
Tabla 12.	68
Tabla 13.	69
Tabla 14.	72

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN:

1.1 Problema de Investigación

a. Descripción de la Realidad Problemática

Actualmente, las tecnologías de comunicaciones inalámbricas han tenido una gran evolución, en cuanto a las comunicaciones móviles han aumentado la demanda de tráfico de voz y datos. De manera más específica el tráfico de datos es el que ha llegado a tener más relevancia en las redes móviles, superando inclusive al requerimiento de tráfico de voz tradicional, requiriendo tasas de datos más altas y una latencia más baja. (Ward, A, 2010).

Pollock, J. (2017), indica que, en un inicio, las redes celulares se caracterizaban por tener pocas estaciones base cubriendo grandes áreas de cobertura, tal como las tecnologías de segunda generación, donde con pocas estaciones se podía tener cobertura en toda una ciudad. Sin embargo, conforme se ha ido dando el aumento de tráfico de voz y datos se ha tenido que ir concentrando la cantidad de estaciones que se utilizan en las ciudades. Esta necesidad viene acompañada del desafío de mejorar algunas técnicas de optimización para poder reducir interferencias y poder también evitar la fluctuación de señal, como es el caso de la técnica de discriminación por ángulo de downtilt.

La técnica de downtilt, es utilizada para poder concentrar la señal en un área de cobertura específica y poder evitar las interferencias cocanal que se puedan presentar por los lóbulos secundarios de las antenas. El típico uso que se da al downtilt es el tilt mecánico; es decir, la inclinación de la antena sectorial hacia abajo con el fin de concentrar su cobertura utilizando medios mecánicos, lo cual hacía más complicado el manejo y el mantenimiento puesto que dependía de trabajo de campo y ferretería para poder mover los ángulos correctamente. (K. Fujimoto, J James, 1994)

Ante ello, una de las soluciones implementadas en las últimas generaciones celulares (tercera y cuarta generación) es la técnica de downtilt eléctrico o también llamada Remote Electrical Tilt (RET). El

cual se caracteriza porque la variación de downtilt se puede controlar a través de arreglos de antenas. Se pueden controlar sus desfases internamente, de manera de que, el patrón resultante puede incrementar o decrementar el ángulo downtilt, según se controle los desfases que llegan a cada uno de los elementos dentro del panel sectorial. Esto se puede controlar de manera remota desde un centro de monitoreo. De manera que de acuerdo a la necesidad propia de la red se puede tener mayor concentración de señal en un punto específico, es decir, en una determinada hora se puede manipular remotamente los ángulos de downtilt de varias estaciones para poder concentrar la señal en un área específica. (T. Isotalo et al., 2005).

b. Identificación del problema

En el orden de ideas antes mencionado, en la ciudad de Trujillo también se tiene implementado la configuración de antenas con la funcionalidad RET. Esto para los autores abrió una importante posibilidad de investigación al poder realizar un análisis acerca de la fluctuación de señal en función del ángulo de downtilt, siendo este un downtilt RET y teniendo la posibilidad de contar con la información de la conformación del patrón de radiación en diferentes ángulos de downtilt eléctrico proveída por el fabricante.

En tal sentido los autores proponen describir a partir del proceso de simulación el comportamiento de la señal y sus fluctuaciones en función de los diferentes patrones de radiación en los diferentes ángulos de downtilt eléctrico que son proveídos por el fabricante. Para ello se propone realizar esta simulación en un área asequible para el proceso de simulación como puede ser el Distrito de Florencia de Mora. Con lo cual buscará obtener un aporte para el diseño de proyectos relacionados a coberturas en sistemas con antenas que tengan la funcionalidad de downtilt remoto eléctrico.

c. Formulación del problema

¿Cómo se comporta la señal downlink 700 MHz al evaluarse mediante simulaciones con variación de downtilt eléctrico en una estación celular de Florencia de Mora, Trujillo?

1.2 Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

Describir el comportamiento de la señal downlink 700 MHz al variar por simulación la configuración RET downtilt en una estación celular en el distrito de Florencia de Mora.

b. Objetivos Específicos

- Determinar en base a simulaciones, los niveles de señal downlink 700 MHz recibidos en puntos referenciales de usuario, con la variación del ángulo RET downtilt.
- Determinar, en base a la variabilidad de señal 700 MHz recibida en emplazamientos referenciales de usuario, el sector al que correspondería la asignación de cobertura.
- Evaluar el comportamiento de la señal downlink en cada punto referencial de usuario, y por cada sector de cobertura, de acuerdo al nivel de señal recibido y la fluctuación al variar el RET downtilt.
- Proponer las condiciones de diseño downtilt RET que favorecen o desfavorecen el comportamiento de la señal recibida para una estación celular 700 MHz en el distrito de Florencia de Mora, Trujillo.

1.3 Justificación de la Investigación

Se pudo justificar académicamente porque se analizó una problemática real con las herramientas proporcionadas en la formación de pregrado, a través de las herramientas de simulación y de cálculo que puede servir para poder ser utilizadas en diseños de orden mayor como el caso de coberturas celulares. También se puede justificar técnicamente porque permitirá un aporte para profundizar criterios de diseño en cuanto a los ángulos de downtilt permitiendo identificar los puntos y ángulos que tengan mayor presencia de fluctuaciones, en particular en la zona de Florencia de Mora que también puede ser proyectado a otras zonas de Trujillo con similares características además de otras zonas del Perú.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes de la Investigación

- a. Buenestado V. (2017) en la tesis doctoral "Optimización de la cobertura y la capacidad en redes LTE mediante procesamiento de eventos complejos" concluye que el ajuste en su estudio para la optimización de cobertura y capacidad de la red LTE se centraliza en el estudio downtilt eléctrico, mediante pruebas de campo que permite determinar y predecir problemas de cobertura además de interferencia entre celdas a través de las herramientas de modelo geométrico como apoyo para el análisis y optimización de redes celulares de diferentes tecnologías incrementando la eficiencia espectral de la red. Con esta herramienta, la celda calcularía sus propios cambios de ángulo de inclinación. Se considera como principal aporte el uso de herramientas para optimizar la red a través de los ángulos de inclinación remota, lo cual sirve como referencia con la presente investigación.
- b. V. Buenestado, M. Toril, S. Luna-Ramírez, J. M. Ruiz-Avilés and A. Mendo, (2017) "Self-tuning of Remote Electrical Tilts Based on Call Traces for Coverage and Capacity Optimization in LTE," en el trabajo de investigación IEEE, plasman un algoritmo heurístico de autoajuste RET. Mediante simulaciones y pruebas de campo lograron optimizar la calidad de cobertura evitando problemas de interferencia en una red LTE. Se tuvieron en cuenta tres indicadores que consistieron en delimitación, parametrización y distribución de carga de celdas el cual se puede aplicar en escenarios urbanos con una gran densidad. El aporte a considerar son los valores de optimización y sintonía downtilt con algoritmo autoajutable RET, lo cual sirvió como referencia para el presente trabajo.
- c. Guodong. Li. et al. (2018), en el artículo de investigación "Análisis y evaluación del rendimiento para conjuntos de antenas activas bajo canal inalámbrico modelo tridimensional" estimaron el desempeño de un arreglo de antenas 3D, en el cual el downtilt es un factor muy importante para antenas con ancho de haz menor, por lo que generan ganancias significativas en la cobertura y capacidad de la misma con

el adecuado downtilt. El aporte a considerar es la correcta aplicación del downtilt y los indicadores de desempeño, lo cual sirvieron como referencia para el presente trabajo.

- d. Ravi, T. et al. (2021) en su artículo de investigación titulado “Fast Restoration of Network with Remote Electric Tilt (RET) using IoT” Propusieron el diseño e implementación de una estación con control RET para downtilt, implementando dicha unidad con un equipo electrónico Raspberry Pi con un control de comandos PWM remoto sobre una red Wi-Fi. El aporte que se considera en el trabajo realizado es la comparativa realizada entre los downtilt eléctricos y mecánicos obtenidos los cuales sirvieron de referencia comparativa para el presente trabajo.
- e. Angulo D. y Barrena L. (2022) en su tesis “Identificación de puntos de desvanecimiento en frecuencia, mediante simulaciones realizadas para un centro poblado rural en diferentes bandas de acceso, La Libertad, 2020.” Se enfocaron en caracterizar el comportamiento de la señal en diferentes bandas de frecuencia buscando identificar aquellos emplazamientos en cuales puedan generar un desvanecimiento notable en una frecuencia específica, lograron identificar estos desvanecimientos en ciertas bandas de frecuencia y ciertos puntos específicos en el rango de bandas desde 1900 MHz hasta 2600 MHz, se considera como principal aporte de investigación los parámetros que utilizaron para la simulación en la estación base celular, los cuales fueron tomados como referencia para el presente trabajo de investigación.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Downtilt en celulares

El downtilt o ángulo de inclinación que viene a ser el ángulo horizontal de la antena. A su vez cuanto mayor sea el downtilt, más cercana será la cobertura de la estación base, y cuanto menor sea el downtilt, mayor será la cobertura de la estación base. Si el downtilt de la antena es pequeño, cuando la antena transmite señales en dirección horizontal, la señal será muy escasa en lugares cercanos a la estación base. A esto se le llama comúnmente "sombra debajo de torre". En la Figura 1 se muestra el dicho efecto. (Niemelä, J., Isotalo, T. & Lempiäinen, J, 2005).

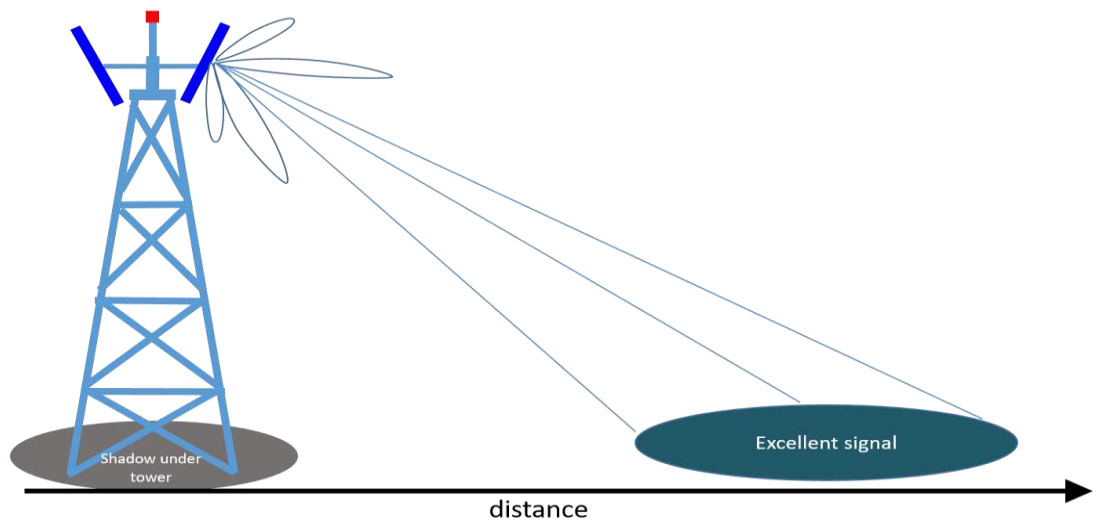


Figura 1: Zona muerta (sin cobertura) o negro bajo la torre.

Fuente: SINA Technologies Inc. (2022)

La potencia transmitida y altitud de la antena determina el área de cobertura de la celda. A menudo, la problemática es la sobrecobertura de una estación base. La sobrecobertura se refiere a la interferencia de señales y por ende de la calidad de servicio del operador, que también da como resultado una interferencia más frecuente entre estaciones base cercanas. Este problema se gestiona mediante el downtilt de la antena. El downtilt se genera al variar la posición angular vertical de la antena en la estación base tal como se muestra en la Figura 2. El downtilt en la antena disminuye el alcance de cobertura, reduciendo la intensidad

del acimut, por lo tanto, ayuda a minimizar interferencia entre celdas contiguas.

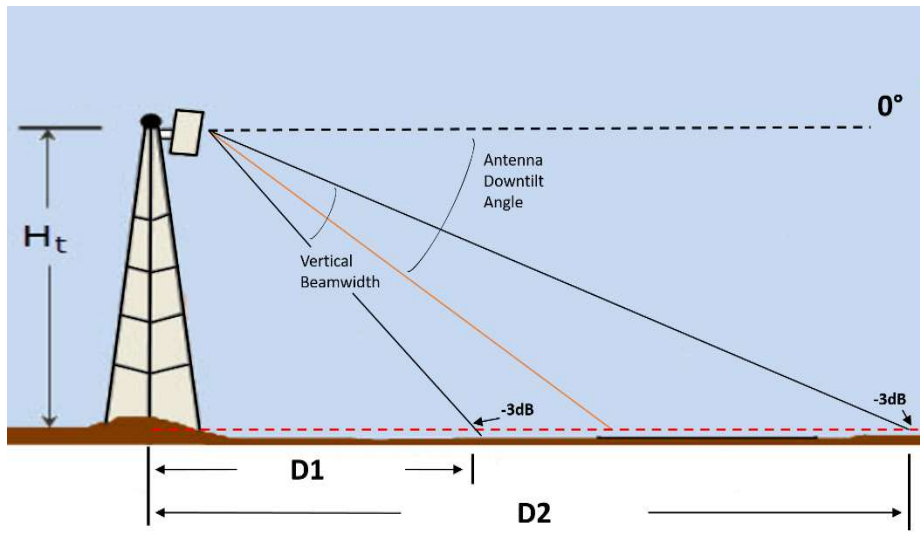


Figura 2: Esquema de downtilt en una estación base.

Fuente: ISP Supplies (2023)

Xiaobing, X. (2022), indica que, cuando estamos más lejos de la estación base, la distancia de recepción de la señal aumenta y la señal del teléfono móvil se vuelve más débil. Si el teléfono móvil quiere recibir señales de alta calidad, debe aumentar la potencia. Por otro lado, la intensidad de la señal del teléfono móvil está estrechamente relacionada con la geografía del terreno, la potencia de transmisión de la estación base, los obstáculos de propagación tal como se muestra en la Figura 3. Cada estación base es responsable del contacto y control de los terminales de usuario en el área, para que los usuarios puedan comunicarse entre sí durante las actividades, y tiene las funciones de traspaso y roaming automático a través de redes locales. La cobertura de cada área está determinada principalmente por el acimut y el ángulo de inclinación hacia abajo de la antena.

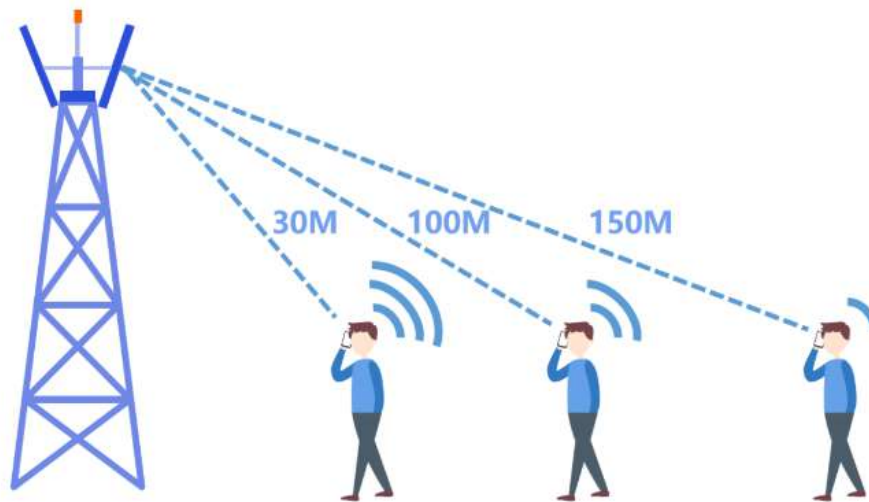


Figura 3: Alcance y cobertura según inclinación de la antena.

Fuente: SINA Technologies Inc. (2022)

2.2.2 Downtilt Mecánico

El downtilt mecánico se ha utilizado como una herramienta para optimizar las redes en el sentido de capacidad y cobertura. El downtilt mecánico se usa ampliamente para disminuir la interferencia cocanal a fin de lograr un factor de reutilización de frecuencia más pequeñas y aumentar su capacidad. También se debe prestar especial atención a los lóbulos laterales y traseros de las antenas de las estaciones base tal como se muestra en la Figura 4, ya que aumentan el nivel de interferencia. Ramírez, M. (2023) señala que, ésta se puede controlar aplicando el downtilt en la estación base para maximizar la capacidad de la red, es una forma efectiva de reducir la interferencia entre celdas al dirigir la señal a su propia área de dominio. Por lo tanto, el downtilt mecánico puede aumentar la capacidad de una red. Sin embargo, podría producir una reducción en la eficiencia de sectorización en el enlace ascendente.

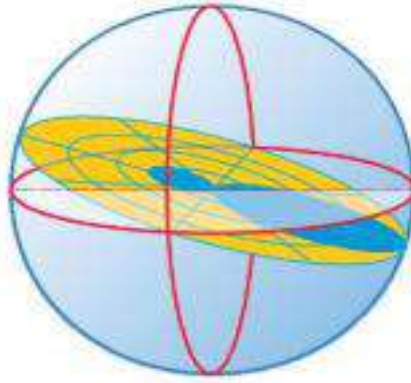


Figura 4: Diagrama de radiación del downtilt mecánico.

Fuente: RF wireless-world (2012)

Tilt mecánico: Es una inclinación física de toda la antena a través de accesorios específicos de la misma antena, esto sin cambiar la fase de la señal de entrada. Por ello, la dispersión frontal de la señal radiada en la antena sectorial se va hacia abajo y la que se presenta en la parte trasera de la misma va hacia arriba. Específicamente es un proceso que implica el ajuste físico de los soportes de montaje en poste de una antena para cambiar la cobertura del haz, para esto se utiliza un nivel digital tal como se muestra en la Figura 5, colocado contra la parte posterior de la antena para obtener una medición precisa. (Niemelä, J., Isotalo, T. & Lempiäinen, J. 2005)

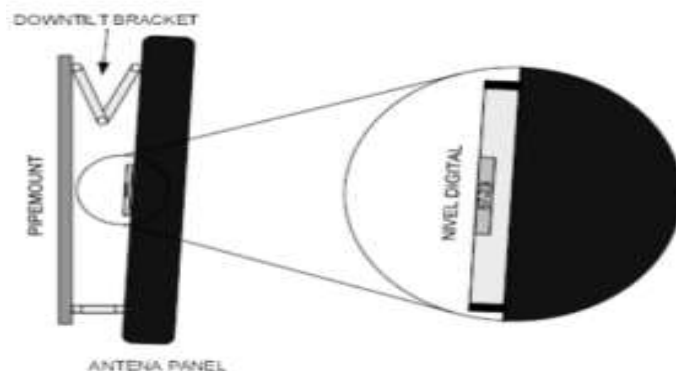


Figura 5: Ajuste de Tilt mecánico

Fuente: Gildardo E. (2016)

2.2.3 Downtilt RET

Por sus siglas en inglés Remote Electrical Tilt, es una técnica que permite orientar el ángulo de inclinación de la antena de la estación base según la necesidad; es decir, con la ayuda de motores eléctricos se podrá ajustar la inclinación de las antenas para un mejor desempeño ya sea por las condiciones geográficas o por altas demandas de tráfico de datos. Esta técnica brinda mayor flexibilidad y escalabilidad al momento de implementar las redes móviles, ya que no es necesario la intervención de personal técnico presencialmente en el sitio, si no que de manera remota se podrán realizar las modificaciones. La Figura 6 muestra los conceptos mencionados.

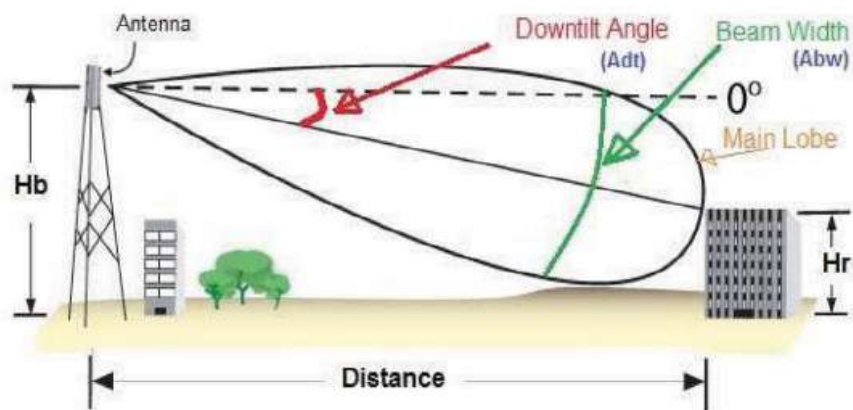


Figura 6: Ángulo de Downtilt y Beamwidth de la estación base celular

Fuente: RF wireless-world (2012)

Commscope (2023), resalta que, la aplicación de Downtilt RET ha aportado grandes beneficios, permitiendo mejorar la cobertura en zonas con baja intensidad de señal y a su vez en áreas donde se demande de un alto tráfico se puede ajustar el ángulo de inclinación de las antenas para reducir la interferencia y aumentar la capacidad de la red. Así mismo se reduce el error humano por control por computadora. En la Figura 7 se muestra el sistema básico RET de Commscope.

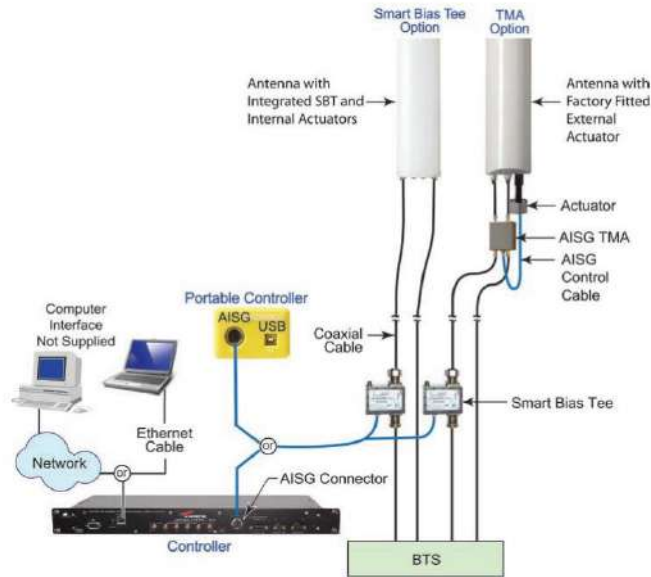


Figura 7: Diseño básico de un sistema RET de Commscope

Fuente: Narán, J. (2022).

En la Tabla 6, se muestra una comparativa respecto de las ventajas y desventajas del uso de downtilt mecánico versus el uso de downtilt eléctrico.

Tabla N° 1 Comparación entre Tilt mecánico y Tilt eléctrico

DOWNTILT MECANICO	DOWNTILT ELECTRICO
La inclinación mecánica aumentará la convergencia delante del sector al aumentar la convergencia en los lados.	La inclinación eléctrica disminuye tanto en largo como en ancho, como un círculo en el suelo que se hace más y más pequeño, pero permanece como se ve en la figura anterior.
La inclinación mecánica se usa en sitios altos, generalmente en la cima de una colina, porque la inclinación eléctrica no es suficiente.	Recomendado para sitios de poca altura y dentro de los límites de la ciudad.
La inclinación mecánica levantará el lóbulo posterior de la antena.	La inclinación eléctrica no induce el aumento del lóbulo posterior.
La disminución converge y agrega interferencia a medida que el mosaico hacia abajo del lóbulo principal da como resultado una inclinación	Disminuye la convergencia y no agrega interferencia ya que el lóbulo posterior también se inclina eléctricamente.
Aumentan los solapamientos sectoriales.	Las superposiciones sectoriales se reducen y se necesitan.

Fuente: Sibasis Das (2017)

2.2.4 Downtilt para reducir interferencias

Li et al., (2018) refiere que, el principal beneficio del Downtilt RET es la reducción de las interferencias intercelulares. Ajustar del ángulo de inclinación de las antenas nos permitirá reducir la radiación a señales vecinas de la misma forma reduciremos las interferencias para poder mejorar la calidad de servicio.

Sin embargo, la implementación de esta tecnología representa ciertos desafíos. Un punto a tener en cuenta es el equilibrio entre cobertura e interferencia. El ajuste incorrecto del ángulo de inclinación de la antena provocará una deficiente cobertura o incluso una interferencia aún mucho mayor entre celdas. Es por esto que se debe considerar hacer un análisis exhaustivo de la topología de la red y del entorno circundante (altura de las antenas, casas, objetos físicos y ubicación de las estaciones base). Además, se debe realizar correctamente la asignación de frecuencias y de la misma forma el ajuste de la potencia de transmisión de la señal, todos estos factores deben ser cuidadosamente evaluados a fin de garantizar la reducción de interferencias. En la Figura 8 se representa el concepto de interferencia cocanal.

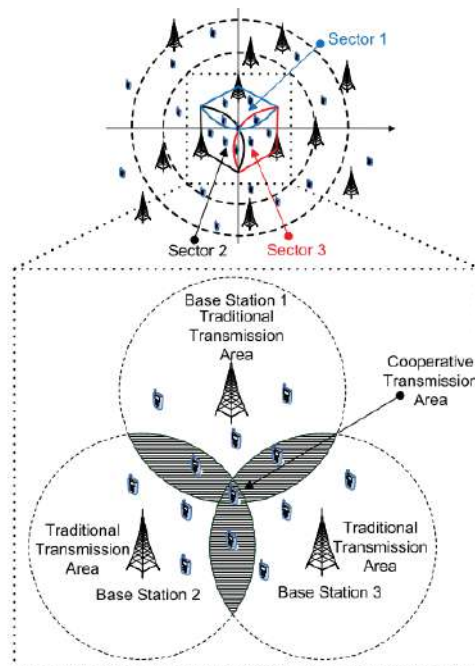


Figura 8: Interferencia cocanal entre estaciones base cercanas

Fuente: Xiaohu Ge (2011)

2.3 Marco Conceptual

a. Downtilt

Es la inclinación hacia abajo para direccionar el haz vertical de la antena en una estación base con el fin de lograr una red más eficiente y poder reducir interferencias. Existen 2 tipos, eléctrico y mecánico.

b. Remote Electrical Tilt

El RET se refiere al ajuste remoto de la inclinación eléctrica de las antenas de las estaciones base en las redes móviles.

c. Variabilidad de señal

Es la fluctuación de la señal recibida en función al tiempo, espacio y frecuencia. Que se manifiestan como variaciones aleatorias de corta duración

d. Desvanecimiento de señal

Es cuando la señal atenuada debido a la pérdida en el espacio y se refleja como baja o mala potencia recibida por el receptor.

2.4 Hipótesis

a. General

El nivel de señal downlink aumenta con el incremento del ángulo de downtilt en la mayor parte del área de cobertura de una estación celular 700 MHz en el distrito de Florencia de Mora, al evaluarse por simulación.

2.5 Variables de estudio

a. Variable 01: Downtilt Eléctrico

Definición Conceptual

A través de un arreglo de antenas con control sincrónico de sus desfases se logra un efecto de variación del ángulo de declinación para el patrón de radiación resultante de la antena, este desfase puede ser controlado eléctricamente de manera remota de manera que se puede variar a distancia o desde un centro de control la cobertura, el alcance y la concentración de señal que tenga en un determinado rango de ángulo de declinación.

Indicadores.

- Rango mínimo de variación
- Rango máximo de variación

b. Variable 02: Nivel de señal recepción downtilt 700MHz

Definición Conceptual

Se refiere a la potencia recibida, generalmente en unidades de potencia logarítmicas dBm desde la estación base hasta los puntos de ubicación de los usuarios. La banda a emplear es la banda de 700 MHz en downlink. Esta señal se encuentra expuesta a variaciones y fluctuaciones de acuerdo al ángulo de downtilt que este configurado en su respectivo sector.

Indicadores.

- Nivel de señal recibida en downlink
- Variabilidad de señal en downlink
- Niveles de señal altos
- Niveles de señal intermedio
- Niveles de señal bajos
- Sector de servicio de la señal downlink
- Niveles de señal en un sector específico

c. Operacionalización de las variables

Tabla 2 Operacionalización de la Variable 01

VARIABLE 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Downtilt eléctrico.	El downtilt eléctrico se puede variar de manera remota entre un rango mínimo y un rango máximo	Rango mínimo de variación	Observación de ficha técnica	Grados °
		Rango máximo de variación	Observación de ficha técnica	Grados °

Tabla 3 Operacionalización de la Variable 02

VARIABLE 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
<p>Nivel de señal de recepción downtilt 700MHz</p>	<p>La señal downlink de 700 MHz posee una condición de fluctuación en diferentes puntos de cobertura que pertenecen a cada sector de la estación base, en los cuales puede cambiar el nivel de fluctuación de señal con los ángulos de declinación RET.</p>	<p>Nivel de señal recibida en downlink</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Variabilidad de señal en downlink</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Niveles de señal altos</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Niveles de señal intermedios</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Niveles de señal bajos</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Sector de servicio de la señal downlink</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>
		<p>Niveles de señal en un sector específico</p>	<p>Ficha de observación</p>	<p>dBm</p>

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

El nivel de investigación del presente trabajo es de tipo descriptivo, dado que se busca hacer una descripción del comportamiento de la señal downlink 700 MHz en una EBC del distrito de Florencia de Mora al simular la variación de su ángulo RET downtilt.

3.2 Población y muestra de estudio

Está constituida por una estación base ubicada en el distrito de Florencia de Mora, Trujillo. Debido a la disponibilidad de acceso y la conveniencia para la recopilación de la información y simulaciones, se utilizó como referencia la EBC 20 de septiembre ubicada en el distrito Florencia de Mora, lo cual constituye la población y muestra a emplear

Para el análisis de la señal se utilizaron 40 puntos representativos de recepción alrededor de la estación. Sobre cada uno de ellos se realizó la simulación de recepción de señal recibida de los 3 sectores en 10 ángulos de downtilt, haciendo un total de 1200 cálculos con la herramienta de simulación; con lo cual los autores consideraron justificada la presencia de dos investigadores con el fin de poder procesar y evaluar toda la información generada.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación propuesta fue de tipo no experimental, porque no se manipuló ninguna variable en su situación real, es decir, se realizó a través de cálculos de enlaces downtilt 700 MHz y la variación de los parámetros RET con una herramienta de simulación.

a. Procedimiento

- Recopilación de información referente a parámetros técnicos característicos de la estación base, sus antenas y sus patrones de radiación RET entre 0 y 10 grados.
- Configuración de simulación con los parámetros técnicos apropiados.
- Estimación del nivel de señal en diferentes puntos de recepción alrededor de la EBC 20 de septiembre en el distrito de Florencia de Mora, para cada uno de los sectores que dan cobertura.
- Elaboración de tablas de clasificación de la señal en base a criterios de calidad de variabilidad y pertenencia a los diferentes sectores.
- Elaboración de curvas y parámetros descriptivos del comportamiento de la señal.
- Evaluación de parámetros de señal obtenidos

3.4 Técnicas e Instrumentos de investigación

- La técnica es la observación de la simulación del comportamiento de la señal.
- Los instrumentos serán fichas de observación para registrar los parámetros y niveles de señal obtenidos.
- Se recolectarán parámetros de comportamiento de la señal en el enlace downlink por cada uno de los 40 puntos y sectores de la EBC.

a) Recopilación de datos del distrito de Florencia de Mora

El distrito de Florencia de Mora está ubicado en el departamento de La Libertad, en el norte del Perú. Limita con los distritos El Porvenir, La Esperanza y Trujillo, con una altitud 85 m sobre el nivel del mar, como se presenta en la Figura 9. Según el último censo del 2007, existe una población de 40,150 habitantes. Su principal actividad económica es el comercio informal; sin embargo, la presencia significativa de micro empresas de calzado, muebles, mecánica, etc. está en aumento lo cual genera un ingreso económico a las familias de Florencia de Mora.

Asimismo, cuenta dos centros médicos; Hospital Manuel Cipriano Rafael – ESSALUD y Hospital Materno Infantil El Esfuerzo – MINSA, del mismo modo cuenta con alrededor de doce colegios entre públicos y privados; siendo los más principales el colegio Tupac Amaru II y el colegio Jorge Basadre. La municipalidad se encuentra en la plaza de armas junto a un centro religioso.

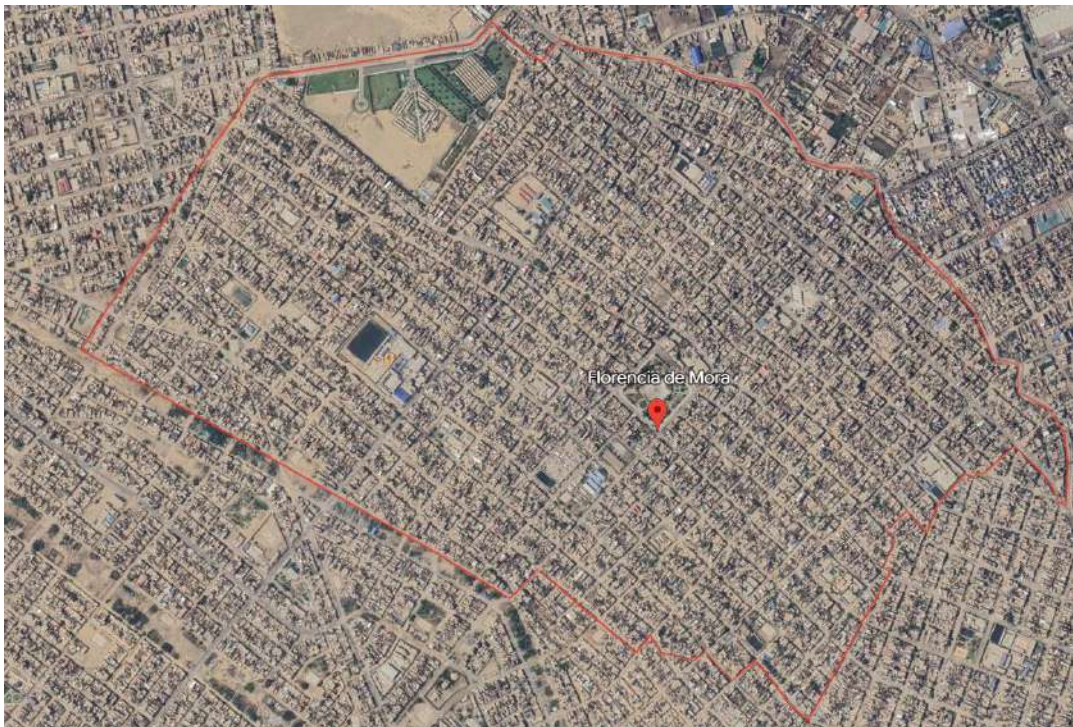


Figura 9. Vista satelital de la zona de interés

Fuente: Google Earth (2023)

En la Figura 10, se presenta una vista de algunas edificaciones cercanas a la estación base de servicio celular elegida, donde se puede apreciar que no existen edificaciones de gran tamaño; de manera que; las rugosidades del terreno predominan a las construcciones. Por ende, la propagación de las señales se ajusta con predominancia de la forma del terreno.



Figura 10. Edificaciones del distrito Florencia de Mora

La EBC analizada, se denomina “EBC 20 de setiembre”. La cual se localiza entre las avenidas 22 de febrero y 9 de mayo. Coordenadas 08° 04’ 33.7” Latitud Sur, 079° 01’ 15.9” Longitud Oeste. En la Tabla 4 se muestra una ficha de datos resumen. Asimismo, en la Figura 11; se muestra una fotografía de la EBC la cual es una de las 5 EBC que existen en el distrito para cubrir un área total de 2 km².

Tabla 4 Ficha resumen del site EBC 20 de septiembre

ITEM	DETALLE
Denominación site	EBC 20 de septiembre
Referencia Ubicación:	Distrito Florencia de Mora. Provincia Trujillo. Dpto. La Libertad
Coordenada latitud	-8.0759828 °
Coordenada longitud	-79.021109 °
Banda (uplink + downlink)	700 MHz
Altura antenas	30 m
Sector 01 downtilt	8 °
Sector 01 azimuth	8 °
Sector 02 downtilt	10 °
Sector 02 azimuth	125 °
Sector 03 downtilt	9 °
Sector 03 azimuth	260 °



Figura 11. EBC 22 de setiembre

En la misma Figura 11, se puede apreciar la configuración de la estación base, cuyo sistema radiante está soportado en un conjunto de antenas sectoriales, con polarización vertical y horizontal (Dual Slant). En una torre monopolo de 30 mts de altura.

b) Datos técnicos de la banda 700 MHz

Llamada también el “Dividendo Digital”, debido a que anteriormente la TV análoga se utilizaba en esta frecuencia (698-806Mhz) y con la transición a la TV digital esta banda quedó liberada para poder ser usada en servicios de banda ancha 4G.

Según el Plan Nacional de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, (2016), la banda de 700 MHz está asignada para brindar o ampliar los servicios de internet móvil de banda ancha con

tecnología LTE, video y plataformas de servicios de telemedicina, teleducación, etc. Así mismo permite mayor cobertura en zonas rurales y una mejor penetración en zonas urbanas con alta densidad de edificaciones.

En la Tabla 5, se observa que la banda 700 MHz, está dividida en 3 bloques (A, B y C) dentro del rango 703 MHz a 803 MHz. El ancho de banda disponible en cada bloque es de 15 MHz para ida (downlink) y 15 MHz para retorno (uplink).

Tabla 5. Distribución de la banda 698 MHz a 806 MHz

BLOQUE	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)		EMPRESA	ÁREA ASIGNACIÓN
A	703 - 718	758 - 773	Entel Perú S.A.	A nivel nacional
B	718 - 733	773 - 788	América Móvil Perú S.A.C.	A nivel nacional
C	733 - 748	788 - 803	Telefónica del Perú S.A.A.	A nivel nacional

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019)

Asimismo, cabe mencionar que, los tres bloques de la banda 700 MHz mencionados anteriormente ya se encuentran adjudicados a los operadores Entel, Claro y Movistar por un periodo de 20 años que comprende desde el 2016-2036 en todo el territorio peruano.

c) Emplazamientos representativos de ubicaciones de usuarios

En el trabajo realizado por Angulo & Barrera (2022), se estimaron 37 puntos para el análisis de desvanecimientos en frecuencia. Para el presente trabajo se consideraron 40 puntos distribuidos uniformemente alrededor de la estación base, considerando la ubicación en posibles puntos de recorrido drive test.

En la figura 12 se representan gráficamente todos los puntos considerados alrededor de la EBC 20 de setiembre. Del mismo modo, en la Tabla 6 se presenta el detalle de sus coordenadas en latitud y longitud. En cada punto se analizó por simulación el efecto de variación RET a fin de poder estudiar el comportamiento de la señal de la banda 700MHz.

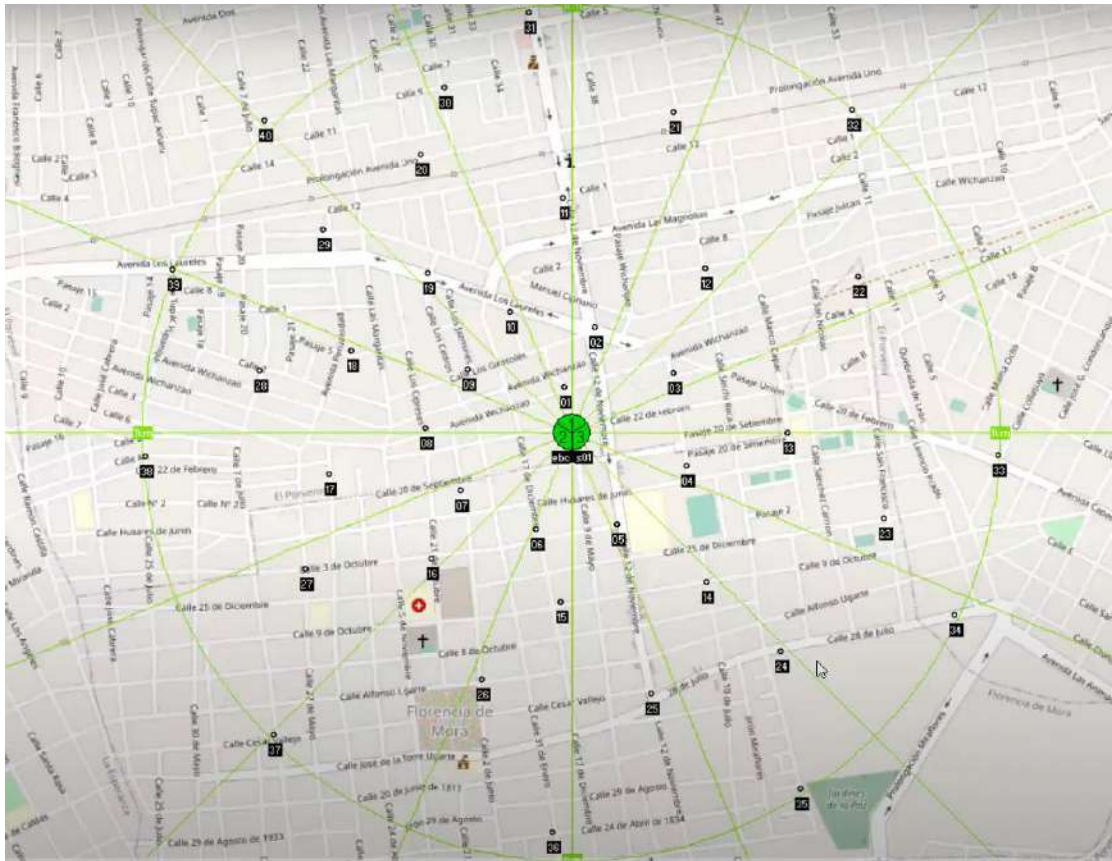


Figura 12. Puntos de ruta del drive test en el distrito de Florencia de Mora

Tabla 6. Datos de ubicación de emplazamientos representativos usuarios

Pto.	Latitude	Longitude	Pto.	Latitude	Longitude	Pto.	Latitude	Longitude	Pto.	Latitude	Longitude
1	-8.075041	-79.021210	11	-8.071065	-79.021230	21	-8.069263	-79.018890	31	-8.067165	-79.021950
2	-8.073782	-79.020560	12	-8.072547	-79.018220	22	-8.072720	-79.014980	32	-8.069215	-79.015100
3	-8.074744	-79.018890	13	-8.076004	-79.016470	23	-8.077806	-79.014430	33	-8.076472	-79.012010
4	-8.076694	-79.018620	14	-8.079138	-79.018190	24	-8.080595	-79.016620	34	-8.079829	-79.012940
5	-8.077929	-79.020090	15	-8.079558	-79.021290	25	-8.081484	-79.019360	35	-8.083484	-79.016200
6	-8.078028	-79.021800	16	-8.078646	-79.024030	26	-8.081187	-79.022950	36	-8.084397	-79.021460
7	-8.077212	-79.023400	17	-8.076868	-79.026200	27	-8.078867	-79.026700	37	-8.082348	-79.027370
8	-8.075905	-79.024150	18	-8.074275	-79.025730	28	-8.074695	-79.027660	38	-8.076496	-79.030080
9	-8.074671	-79.023250	19	-8.072645	-79.024100	29	-8.071733	-79.026330	39	-8.072571	-79.029510
10	-8.073460	-79.022350	20	-8.070152	-79.024250	30	-8.068745	-79.023750	40	-8.069436	-79.027570

d) Características técnicas referenciales para EBC 20 de setiembre

Como referencia para obtener características técnicas de simulación, se ha considerado una plataforma modular para la EBC, la cual está compuesta por una Unidad de Banda Base (BBU3900) y una unidad de radio remota (RRU). Se destaca en este equipamiento las facilidades de instalación flexible, fácil implementación, bajo consumo de energía y TCO (Total Cost of Ownership) reducido. En la Figura 13, se muestran el módulo RRU, el cual incluye un circuito independiente RF para transmisión y recepción. Su función principal es filtrar, amplificar y convertir en un formato digital la señal recibida antes de enviársela a la BBU a través de un cable de fibra óptica. Por otro lado, las señales digitales de la BBU se convierten en radiofrecuencia antes de enviarse a la antena para su posterior transmisión.



Figura

13.

DBS BBU3900 de Huawei – RRU3900

Fuente: Huawei Technologies Co., Ltd

En la Tabla 7, se detalla un resumen de las características técnicas seleccionadas del RRU 3900 HUAWEI.

Tabla 7. Principales datos técnicos del transceptor RRU 3900 Huawei

Transceptor	
Item	Description
Frequency	700 MHz
Impedance	50 Ω
Umbral Rx	-115.5 dBm
Power Tx	64 dBm
L. internas	1.50 dBm

e) Características referenciales de Antenas

Respecto de las características técnicas de antenas para el sistema radiante EBC, se ha considerado el modelo ASI4517R1, del fabricante HUAWEI. La Tabla 08 muestra un resumen de las especificaciones.

Tabla 8. Resumen Datos técnicos de la antena sectorial ASI4517R1

Electrical Properties					
Frequency range (MHz)		2 x (690 - 960)			
		690 - 820	790 - 862	824 - 896	880 - 960
Polarization		+45°, -45°			
Electrical downtilt (°)		0 - 10 , continuously adjustable, each band separately			
Gain (dBi)	at mid Tilt	16.1	16.7	17.0	17.1
	over all Tilts	16.1 \pm 0.4	16.6 \pm 0.4	16.9 \pm 0.4	17.0 \pm 0.4
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB)		> 17	> 16	> 16	> 17
Horizontal 3dB beam width (°)		69 \pm 4	66 \pm 3	64 \pm 3	63 \pm 3
Vertical 3dB beam width (°)		8.9 \pm 0.7	8.3 \pm 0.4	7.9 \pm 0.4	7.3 \pm 0.3
VSWR		< 1.5			
Cross polar isolation (dB)		≥ 28			
Interband isolation (dB)		≥ 28 (690 - 960 // 690 - 960 MHz) ≥ 28 (690 - 960 // 1710 - 2690 MHz) ≥ 28 (1710 - 2690 // 1710 - 2690 MHz)			
Front to back ratio , \pm 30° (dB)		≥ 24	≥ 25	≥ 27	≥ 26
Cross polar ratio (dB)		0°	≥ 23	≥ 22	≥ 21
Max. power per input (W)		500 (at 50°C ambient temperature)			
Total power (W)		1200 (at 50°C ambient temperature)			
Intermodulation IM3 (dBc)		≤ -153 (2 x 43 dBm carrier)			
Impedance (Ω)		50			
Grounding		DC Ground			

Fuente: Huawei Technologies Co., Ltd (2020)

El modelo ASI4517R1, posee un patrón de radiación azimutal (RPE horizontal) y patrón de elevación (RPE vertical) tal como se detalla en la Figura 14.

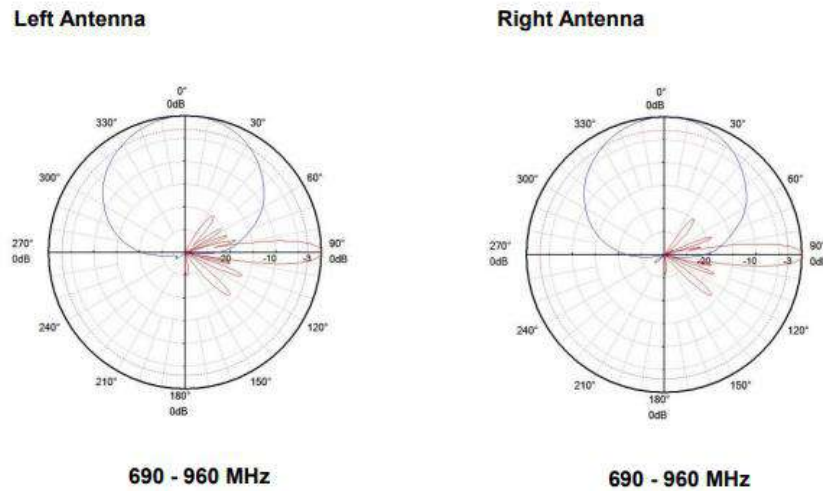


Figura 1. Detalle del patrón de radiación de la antena ASI4517R1

Fuente: Huawei Technologies Co., Ltd (2020)

f) Características técnicas referenciales para estaciones móviles

Se ha tomado como referencia el trabajo de Angulo & Barrena (2022), utilizando el mismo tipo de patrón RPE de estación móvil de usuario (stand up mobile) para realizar el modelamiento de propagación. En la Tabla 9, se detallan los datos técnicos de la estación móvil, considerando entre los principales, los parámetros de potencia, umbral de recepción, pérdidas y ganancias.

Tabla 9. Datos técnicos de Estación móvil

Ptx	20 dBm.
Umbral Rx	-110 dBm.
Line Loss (pérdidas por absorción por el cuerpo del usuario)	8 dB
Ganancia de antena	0,0 dBi.

En la Figura 15, se muestran, los patrones de elevación y azimut tomados como referencia por Angulo & Barrena (2022) los cuales son utilizados en el presente trabajo para efectos de simulación.

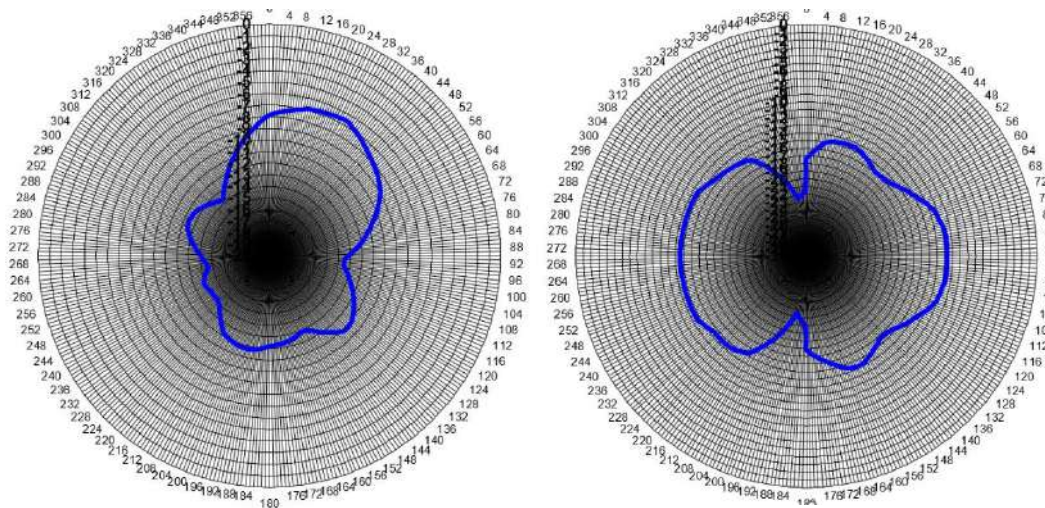


Fig. 15. Patrón de elevación y azimut estación móvil usuario

Fuente: Anis Krayni, Assessment Methodologies of Child Exposure in Realistic Wireless Contexts (2018).

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos

a) Estimación de niveles de señal móvil recibida

En base a la recopilación de datos y características técnicas presentadas en el apartado anterior, tales como emplazamientos de EBC y puntos de usuario, características técnicas RF de EBC y transceptores de usuarios, así como características de sistema radiante, patrón de radiación y banda de frecuencia, se procedió a realizar las simulaciones con el empleo de la herramienta RadioMobile. En la Figura 16, se visualiza las configuraciones realizadas en el software de simulación en la herramienta Radio Mobile para del emplazamiento de la estación base.

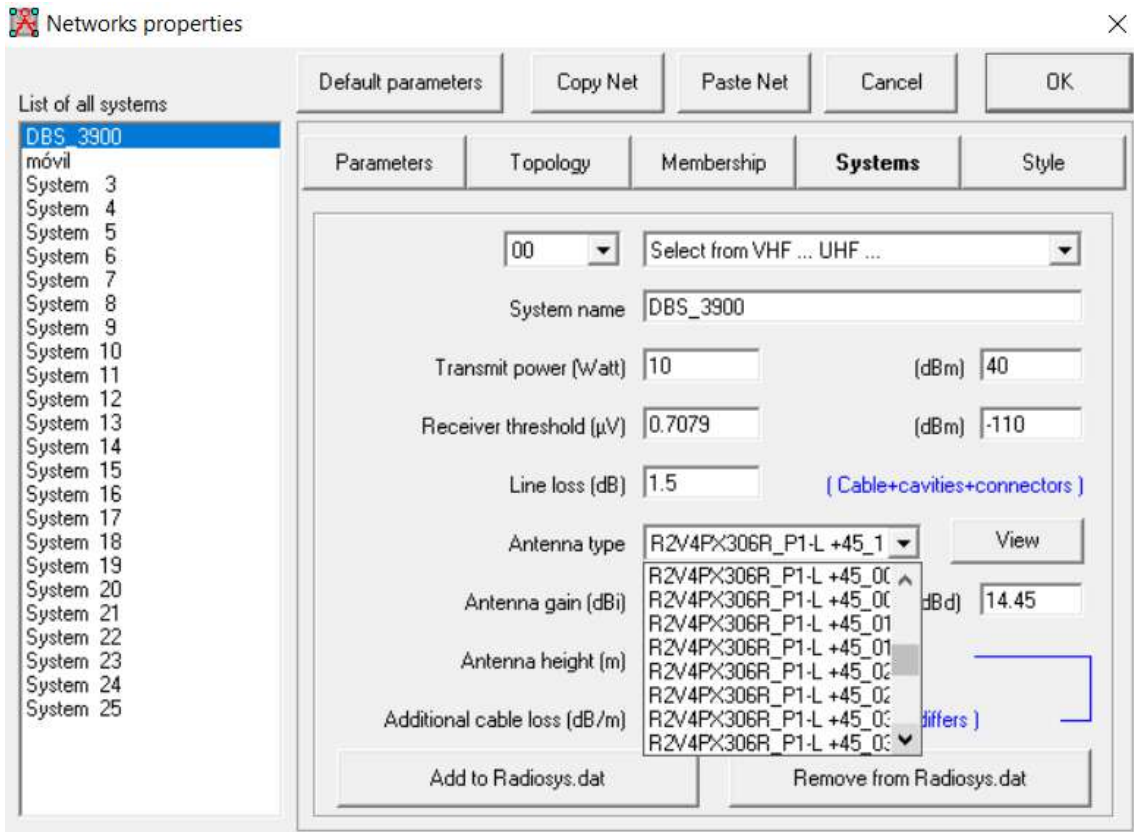
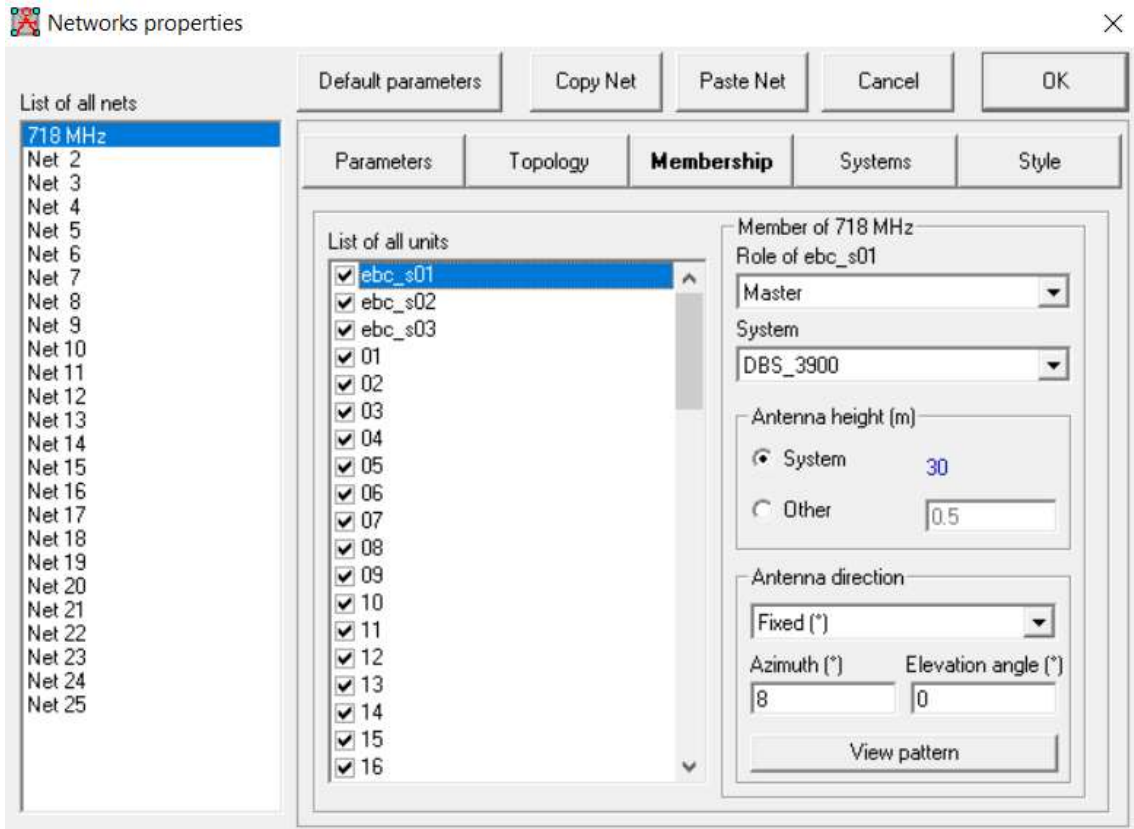


Fig. 2. Configuración simulación 700 MHz EBC y puntos de usuario

En la Figura 16, se muestra la configuración de la EBC, la cual ha sido generada a partir de 03 unidades (S1, S2, S3) representativas de los tres sectores de la estación. De la misma forma se muestra la configuración de las 40 unidades representativas de emplazamientos de usuario. En cada sector se ha configurado su sistema transceptor RF y sistema de antena con su ángulo de azimuth, observándose que la variación del ángulo de downtilt, es configurada en base a la selección del patrón de radiación RET correspondiente.

b) Reporte obtenido del proceso de simulación en la recepción desde un emplazamiento móvil.

Los procesos de simulación se realizaron con 40 puntos en la banda 700MHz downlink, para un emplazamiento EBC para los diferentes grados de downtilt. En este contexto se presenta la Tabla 10, donde se identificó, los niveles de recepción obtenidos en enlace downlink para el sector 1; Tabla 11, se muestran los datos obtenidos del sector 2 y Tabla 12 los datos obtenidos de los 40 puntos del sector 3.

Tabla 10: Reporte de señal recibida en emplazamientos de usuario para diferentes grados de downtilt RET - sector 1

PUNTOS RX	0° Downtilt	1° Downtilt	2° Downtilt	3° Downtilt	4° Downtilt	5° Downtilt	6° Downtilt	7° Downtilt	8° Downtilt	9° Downtilt	10° Downtilt
1	-48	-47.1	-46.3	-45.3	-44.7	-43.7	-43.2	-41.7	-41.6	-39.9	-40
2	-48.9	-48.6	-48.3	-47.9	-47.6	-47.2	-47	-46.4	-46.4	-45.7	-45.7
3	-56.2	-55.7	-55.5	-54.4	-54.7	-52.8	-53.7	-50.7	-52.7	-49	-51.7
4	-82.2	-81.6	-81.5	-79.8	-80.5	-77.3	-79.2	-73.8	-77.7	-70.9	-75.9
5	-79	-78.9	-79.5	-77.6	-79	-74.8	-77.8	-70.1	-75.6	-66	-73.3
6	-89.4	-89.3	-90.3	-88.4	-90.7	-86.3	-90.5	-82.5	-90.1	-79.8	-89.2
7	-75	-74.3	-74.3	-72	-73.1	-69.4	-72.4	-66.1	-72.2	-64.3	-71.8
8	-69.9	-69.4	-69.9	-68.6	-69.8	-67.1	-69.7	-64.8	-69.5	-63.2	-69
9	-65.3	-65	-65.2	-64.1	-64.9	-63	-64.6	-61	-64.2	-59.8	-63.8
10	-57.8	-57.6	-57.7	-57.1	-57.5	-56.5	-57.4	-55.5	-57.2	-54.8	-57
11	-65.9	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.7	-65.8	-65.7	-65.8	-65.5	-65.8
12	-55.2	-54.9	-54.8	-54.1	-54.4	-53.3	-54	-52.1	-53.6	-51.3	-53.1
13	-65.6	-65	-65.1	-63.5	-64.2	-61.6	-63.5	-59	-62.6	-56.9	-61.5
14	-94.7	-93.6	-92.9	-89.8	-89.7	-84.6	-86.4	-78.5	-83.5	-74.3	-81.2
15	-84	-82.9	-83.1	-80.2	-82.2	-77.3	-81.9	-73.5	-82	-71	-81.1
16	-83	-82.1	-82.2	-79.7	-81	-77	-80.8	-73.9	-80.9	-72.3	-81.2
17	-84.7	-84.2	-84.6	-83	-84.3	-81.1	-83.9	-78.4	-83.7	-76.6	-83.1
18	-71.9	-71.8	-72.1	-71.1	-72.2	-70.1	-72.2	-68.3	-72.1	-67	-72
19	-61.9	-62	-62.2	-62.2	-62.4	-62.4	-62.5	-62.5	-62.6	-62.7	-62.9
20	-75.1	-75.2	-75.4	-75.5	-75.7	-75.7	-75.9	-76	-76.3	-76.2	-76.7
21	-71.9	-71.9	-71.9	-71.9	-71.8	-71.8	-71.8	-71.8	-71.8	-71.8	-71.8
22	-61.7	-61.3	-61.3	-60.3	-60.9	-59.1	-60.4	-57.4	-59.9	-56.2	-59.4
23	-88.8	-88.2	-88.2	-86.5	-87.3	-84.2	-86.5	-81.1	-85.5	-78.8	-84.3
24	-98.1	-97.3	-97.1	-94.2	-94.4	-89.6	-91.7	-84	-89.2	-80	-87.1
25	-91.5	-91.3	-91.9	-89.5	-90.7	-86	-89.4	-80.9	-87.6	-77.1	-85.8
26	-86.6	-86.3	-87.3	-85.1	-87.3	-82.9	-87.7	-79.6	-88	-77.6	-87.8
27	-89.9	-89.1	-89.1	-86.8	-88.1	-84.3	-87.7	-81.4	-87.8	-79.9	-87.8
28	-75.2	-75.1	-75.5	-74.6	-75.7	-73.7	-75.9	-72	-75.8	-70.8	-75.8
29	-68.6	-68.6	-68.9	-69	-69.2	-69.2	-69.4	-69.3	-69.6	-69.5	-69.9
30	-81.4	-81.5	-81.7	-81.7	-82	-82	-82.2	-82.3	-82.5	-82.5	-83
31	-78.1	-78.2	-78.3	-78.3	-78.5	-78.6	-78.6	-78.7	-78.8	-79	-79.2
32	-80.5	-80.3	-80.3	-79.8	-80	-79.3	-79.8	-78.6	-79.6	-77.9	-79.4
33	-74.6	-74.1	-74.1	-72.7	-73.5	-70.9	-72.9	-68.2	-72.2	-66.4	-71.3
34	-92.6	-91.9	-92	-90.1	-90.9	-87.5	-89.9	-83.8	-88.5	-81	-87
35	-93.4	-93.2	-93.8	-91.8	-93	-88.9	-92	-84.3	-90.1	-80.5	-88.1
36	-103.1	-101.9	-102	-99	-100.9	-99	-101	-92.6	-101.4	-90.4	-101
37	-101.1	-100.1	-100.4	-98.1	-99.8	-95.8	-99.9	-92.9	-100.3	-91.6	-101
38	-87.5	-87.2	-87.7	-86.4	-87.8	-85	-87.8	-82.7	-87.7	-81.1	-87.4
39	-76.2	-76.4	-76.5	-76.6	-76.8	-76.8	-76.9	-76.9	-77	-77	-77.2
40	-71.6	-71.7	-72	-72	-72.4	-72.3	-72.8	-72.7	-73.2	-73.1	-73.8

Tabla 11: Reporte de señal recibida en emplazamientos de usuario para diferentes grados de downtilt RET - sector 2.

PUNTOS RX	0° Downtilt	1° Downtilt	2° Downtilt	3° Downtilt	4° Downtilt	5° Downtilt	6° Downtilt	7° Downtilt	8° Downtilt	9° Downtilt	10° Downtilt
1	-73.3	-72.6	-72.6	-70.6	-71.7	-67.9	-70.6	-63.8	-69.4	-61.1	-68.2
2	-73.5	-72.9	-73.1	-71.3	-72.3	-69	-71.9	-66.1	-71.5	-64.2	-70.9
3	-59.5	-59.2	-59.3	-58.1	-58.7	-56.7	-58.1	-54.6	-57.4	-52.9	-56.6
4	-64.1	-63.5	-63.1	-62.3	-62.2	-61.2	-61.2	-59.7	-60.2	-58.5	-59.1
5	-51.7	-51	-50.4	-49.3	-49.1	-47.7	-47.8	-45.7	-46.3	-43.9	-44.8
6	-71.7	-71.1	-70.9	-69.5	-69.9	-67.3	-68.6	-64.2	-67	-61.8	-65.3
7	76.9	-76.5	-76.6	-74.6	-75.4	-71.5	-73.6	-67	-71.7	-63.4	-69.6
8	-81.6	-81.3	-81.9	-79.7	-81.3	-76.9	-80.5	-72.5	-79.3	-69.3	-77.9
9	-89.7	-88.5	-88.6	-85.7	-87.7	-82.7	-87.7	-79	-88	-76.8	-87.7
10	-87.3	-87	-88	-86.7	-89.5	-86	-91.1	-84.4	-93	-83.8	-94
11	-92.9	-92.3	-92	-91.1	-91.3	-90.1	-91.3	-89.5	-91.7	-89.4	-92.2
12	-68	-67.8	-68.2	-67.1	-68.2	-65.9	-68.3	-63.8	-68.1	-62.5	-67.9
13	-54.4	-54.1	-54	-53.3	-53.5	-52.3	-53.1	-51	-52.5	-50	-51.9
14	-56.8	-56.4	-56	-55.4	-55.2	-54.4	-54.3	-53.2	-53.4	-52.1	-52.5
15	-57.7	-57.1	-56.9	-55.6	-55.9	-53.9	-54.9	-51.6	-53.8	-49.6	-52.6
16	-75.1	-74.5	-74.4	-72.6	-73.3	-70	-72.2	-66.4	-70.8	-63.6	-69.3
17	-100.7	-100.3	-100.5	-98	-98.5	-93.5	-95.8	-87.4	-92.9	-83.1	-90.8
18	-106.3	-103.2	-102.1	-98.4	-100.4	-95.8	-101	-93	-101.3	-90.1	-100.2
19	-87.5	-87.6	-88.1	-88.2	-88.8	-89	-89.8	-90.1	-90.8	-90.8	-91.4
20	-104.5	-104.4	-105.4	-105.8	-107.4	-107.8	-109.6	-110.1	-111.9	-111.9	-113.2
21	-95.7	-95.7	-95.7	-95.8	-95.8	-95.8	-95.8	-95.9	-95.8	-95.8	-95.7
22	-64.2	-64	-64.2	-63.3	-64.1	-62.3	-64	-60.6	-63.7	-59.5	-63.5
23	-70.2	-69.9	-69.8	-69.2	-69.3	-68.6	-68.9	-67.6	-68.4	-66.8	-67.8
24	-62.7	-62.3	-62	-61.5	-61.3	-60.7	-60.6	-59.7	-59.8	-58.7	-59.1
25	-62.1	-61.6	-61.4	-60.5	-60.6	-59.2	-59.8	-57.5	-59	-56.1	-58.1
26	-68.3	-67.8	-67.8	-66.4	-67	-64.5	-66.1	-61.9	-65.1	-60	-64.2
27	-92.1	-91.5	-91.7	-89.7	-90.6	-86.7	-89.1	-82.4	-87.5	-79.2	-85.8
28	-95	-94.9	-95.4	-93.2	-94.3	-89.9	-93.1	-85.3	-91.5	-81.6	-90.1
29	-93.8	-93.2	-93.5	-92.9	-93.3	-92.9	-93.8	-93.4	-94.3	-93.8	-94.5
30	-113	-112.4	-112.6	-112.2	-112.8	-112.5	-113.5	-113.5	-114.7	-114.7	-116.1
31	-105.8	-105.1	-105	-104.3	-104.4	-104	-104.6	-104.4	-105.1	-105.1	-106
32	-92.6	-92.5	-92.8	-92.2	-93.1	-91.6	-93.2	-90.2	-93.2	-89.3	-93.3
33	-61.9	-61.7	-61.7	-61.1	-61.4	-60.4	-61.1	-59.3	-60.8	-58.5	-60.4
34	-68	-67.7	-67.5	-67	-67	-66.5	-66.6	-65.8	-66.1	-65.1	-65.5
35	-60.9	-60.5	-60.4	-59.6	-59.6	-58.8	-59	-57.6	-58.4	-56.5	-57.7
36	-75.8	-75.3	-75.2	-74	-74.4	-72.5	-73.7	-70.4	-72.8	-68.8	-72
37	-89.8	-89.1	-89.2	-87.4	-88.4	-85.1	-87.4	-81.9	-86.4	-79.6	-85.2
38	-99	-98.7	-99.1	-97.2	-98.9	-94.7	-98.3	-90.7	-97.1	-87.3	-95.8
39	-107.3	-105.5	-104.4	-103.3	-103.4	-103.5	-104.6	-105.3	-106.1	-106.3	-106.5
40	-97.1	-96.7	-97.5	-97.1	-98.2	-97.5	-99.2	-98.5	-100	-99.2	-100.7

Tabla 12: Reporte de señal recibida en emplazamientos de usuario, para diferentes grados de downtilt RET - sector 3

PUNTOS RX	0° Downtilt	1° Downtilt	2° Downtilt	3° Downtilt	4° Downtilt	5° Downtilt	6° Downtilt	7° Downtilt	8° Downtilt	9° Downtilt	10° Downtilt
1	-63.8	-63.1	-62.9	-61.3	-61.8	-58.8	-60.1	-55	-58.1	-51.6	-55.7
2	-75.8	-75.1	-75.3	-73.4	-74.2	-70.5	-72.9	-66.5	-71.2	-63.3	-69.5
3	-88.3	-88.5	-89	-86.2	-87.1	-81.8	-84.9	-75.9	-82.5	-71.6	-80.3
4	-93.1	-93.1	-94.2	-92.9	-95.6	-92.2	-96.7	-90	-97.9	-88.7	-97.8
5	-71.6	-71.1	-71.3	-69.9	-70.9	-67.7	-69.8	-64.3	-68.5	-61.5	-67
6	-68	-67.5	-67.4	-66.3	-66.6	-64.6	-65.6	-62.1	-64.4	-60.2	-63.1
7	-50.3	-49.8	-49.5	-48.8	-48.6	-47.8	-47.8	-46.5	-47	-45.4	-46.1
8	-51	-50.8	-50.6	-50.1	-50.1	-49.5	-49.5	-48.7	-49.1	-47.9	-48.5
9	-60.1	-59.7	-59.6	-58.7	-58.9	-57.5	-58.3	-55.9	-57.8	-54.7	-57.1
10	-66.7	-66.2	-66.3	-65.1	-65.9	-63.5	-65.3	-61.3	-64.8	-59.7	-64.2
11	-86.4	-86	-85.9	-85.3	-85.4	-84.3	-84.8	-83	-84.2	-81.8	-83.4
12	-86.9	-86.6	-87.2	-85.3	-86.7	-82.5	-85.8	-78	-84.1	-74.4	-82.4
13	-82	-81.7	-82.5	-80.2	-82.3	-77.8	-82.7	-74.4	-82.8	-72.3	-82.6
14	-81.9	-81.2	-81.1	-78.9	-80	-76.4	-79.4	-73.2	-79	-71.4	-78.7
15	-62.4	-62.1	-62.3	-61	-61.8	-59.5	-61.1	-57	-60.4	-55.2	-59.4
16	-55.3	-54.9	-54.8	-54.1	-54.1	-53	-53.5	-51.6	-52.9	-50.5	-52.1
17	-61.2	-61	-60.7	-60.4	-60.3	-60.1	-59.8	-59.5	-59.4	-59	-58.9
18	-61.7	-61.4	-61.4	-60.8	-61.1	-60.1	-60.8	-59.1	-60.5	-58.3	-60.2
19	-63.9	-63.7	-63.7	-63.5	-63.5	-63.4	-63.4	-63.2	-63.2	-63	-63.1
20	-83.3	-83.1	-83.3	-83	-83.2	-82.9	-83	-82.7	-83	-82.6	-83
21	-101	-100.9	-100.7	-100.4	-99.9	-99.4	-98.7	-98.1	-97.4	-96.7	-96.1
22	-98.7	-98.5	-98.8	-95.5	-96.1	-90.5	-94	-84.6	-91.6	-80.2	-89.7
23	-100.2	-99.9	-101.1	-99.7	-102.6	-99	-104.1	-97.4	-105.9	-96.6	-106.5
24	-88.2	-87.5	-87.5	-85.3	-86.3	-82.6	-85.9	-79.6	-85.6	-77.9	-85.5
25	-77.5	-77.3	-77.7	-76.3	-77.4	-74.7	-77.2	-72.2	-76.7	-70.3	-75.9
26	-64.4	-64.1	-64.3	-63.2	-63.7	-61.9	-63.3	-59.9	-62.7	-58.6	-62
27	-64.5	-64.3	-64.1	-63.6	-63.6	-63	-63.2	-62.1	-62.8	-61.5	-62.4
28	-60.6	-60.4	-60.4	-59.9	-60.2	-59.5	-59.9	-58.9	-59.8	-58.3	-59.5
29	-66.6	-66.4	-66.5	-66.4	-66.5	-66.3	-66.4	-66.2	-66.4	-66.2	-66.5
30	-93.5	-93.2	-93.3	-93.1	-93.4	-92.9	-93.1	-92.8	-93	-92.5	-92.9
31	-96.8	-96.4	-96.4	-96.1	-96.2	-95.7	-95.9	-95.4	-95.5	-94.9	-95.1
32	-111	-110.8	-111.1	-109.8	-111	-108.1	-110.4	-104.9	-109.2	-102.1	-107.9
33	-89.9	-89.6	-90.5	-88.5	-90.8	-86.5	-91.5	-83.5	-92.1	-81.7	-92.3
34	-100.2	-99.3	-99.7	-97.5	-99.2	-95.3	-99.5	-92.5	-100	-91.3	-100.7
35	-84.3	-83.8	-83.9	-82	-83.2	-79.8	-82.7	-76.8	-82.2	-74.9	-81.7
36	-81	-80.8	-81	-79.8	-80.6	-78.4	-80.4	-76.3	-79.9	-74.8	-79.3
37	-72	-71.8	-71.7	-71	-71.3	-70.2	-71	-69	-70.6	-68.1	-70.2
38	-66.2	-66.1	-66	-65.8	-65.8	-65.5	-65.6	-65.1	-65.3	-64.7	-64.1
39	-66.6	-66.6	-66.5	-66.4	-66.4	-66.4	-66.3	-66.3	-66.3	-66.2	-66.2
40	-72.3	-72.1	-72.4	-72.2	-72.5	-72.2	-72.6	-72.2	-72.6	-72.3	-72.9

c) Curvas de recepción con diferentes ángulos de downtilt

En las Figuras 17, 18, 19 y 20, se presenta un resumen de curvas de variabilidad de señal recibida en una señal downlink variando los ángulos downtilt.

Se puede notar que las curvas en color azul corresponden al sector 1, de color naranja corresponde al sector 2 y en color gris para el sector 3. Estas curvas resaltan la predominancia de cada sector por ángulo configurado, en cada punto se visualiza como cada sector tiene mayor relevancia donde otros sectores tienden a caer. Las curvas antes descritas se han estimado para la variación de ángulos downtilt en la EBC 20 de septiembre.

Cabe destacar que en las Figuras 17, 18, 19 y 20, se observa en las curvas obtenidas, una tendencia para la señal recibida proveniente del sector que otorgaría el servicio (sector con mayor potencia - serving sector) a aumentar su nivel de señal con el aumento del downtilt. Si bien es cierto esta tendencia no se da en todos los puntos analizados, se puede identificar en la mayoría de puntos de usuario. Esto será analizado y discutido en la presentación de resultados.

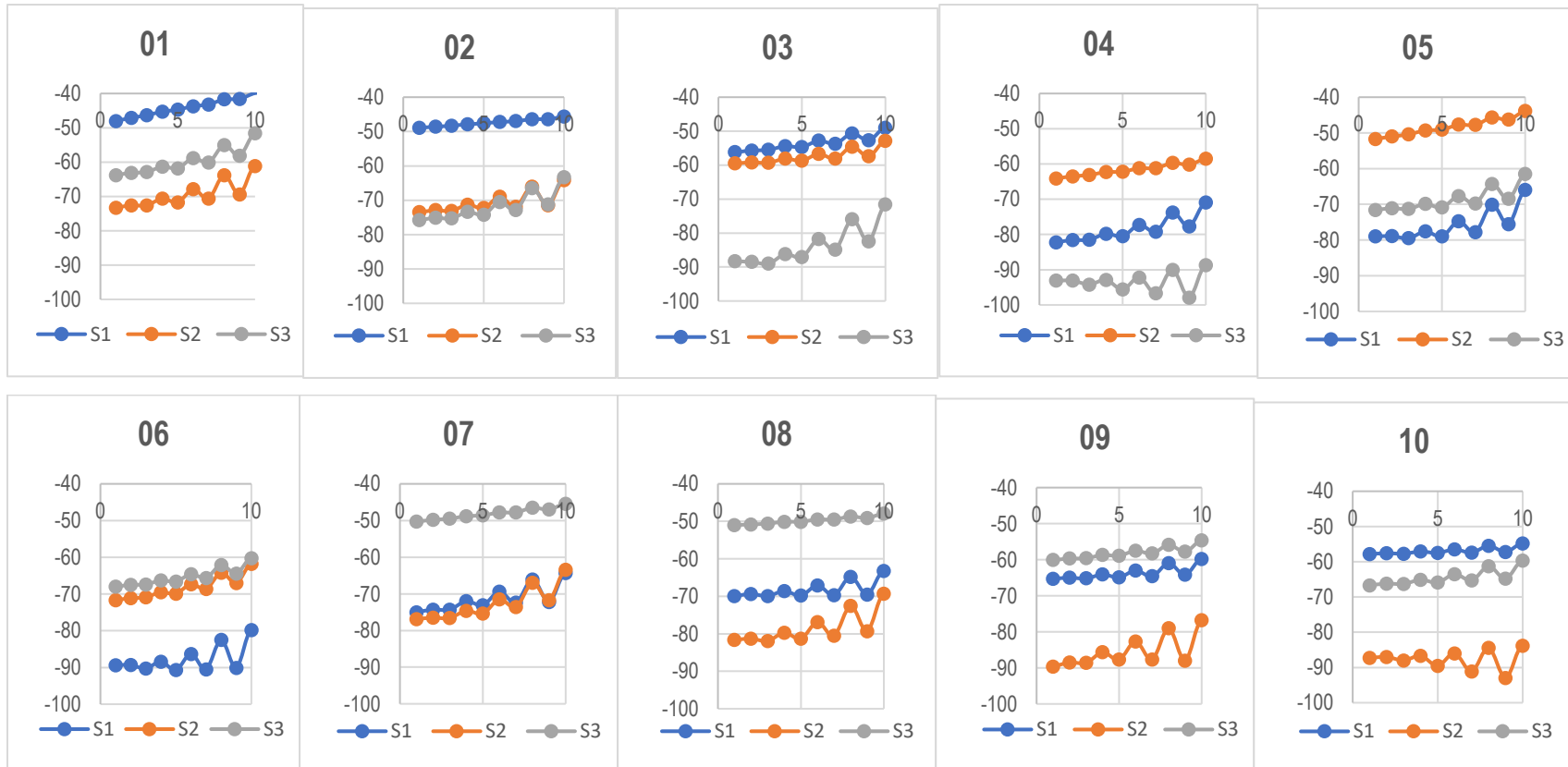


Figura 3: Curvas Nrx por sectores para downtilt 0° a 10° (puntos usuario 1 al 10)

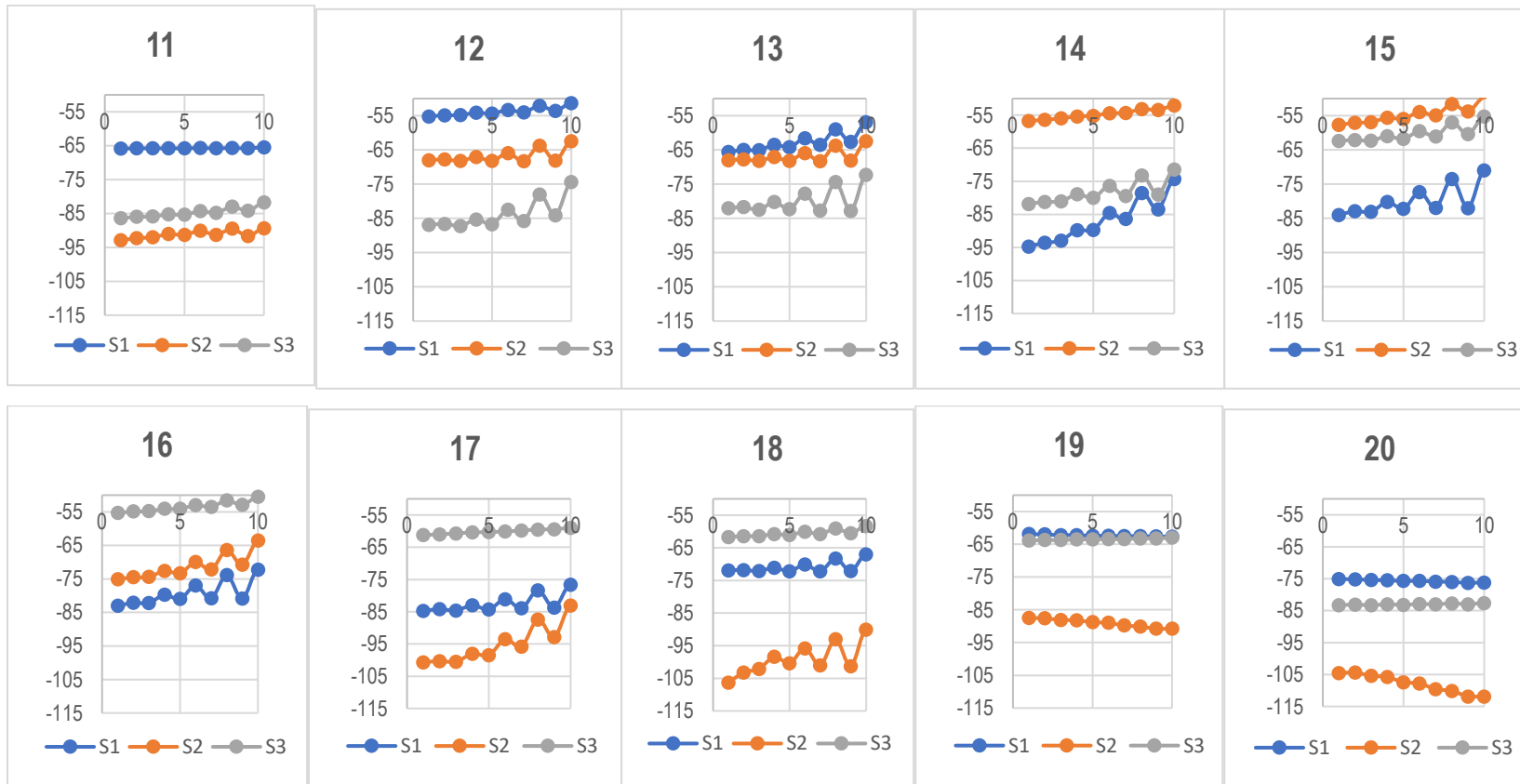


Figura 18: Curvas Nrx por sectores para downtilt 0° a 10° (puntos usuario 11 al 20)

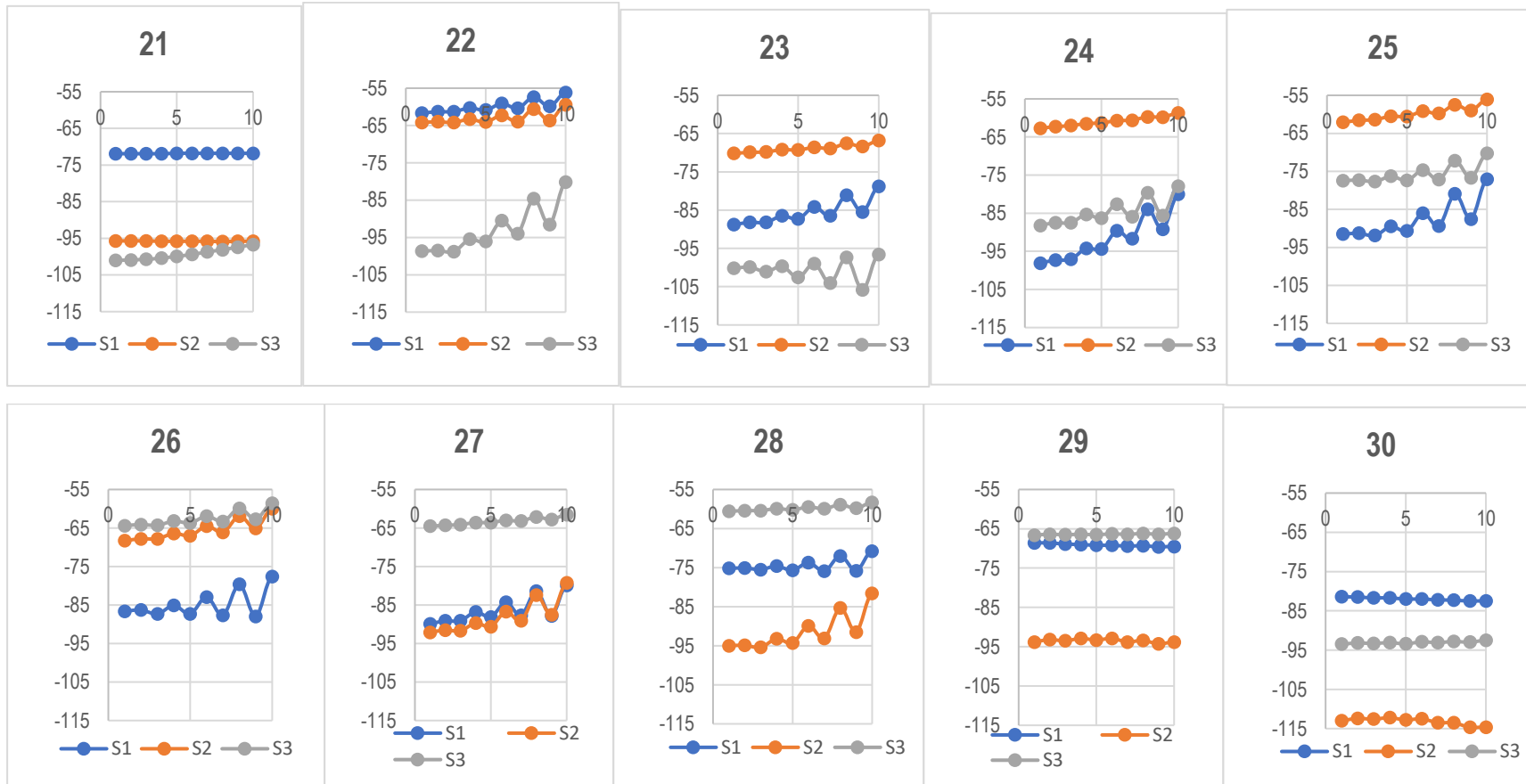


Figura 19: Curvas Nrx por sectores para downtilt 0° a 10° (puntos usuario 21 al 30)

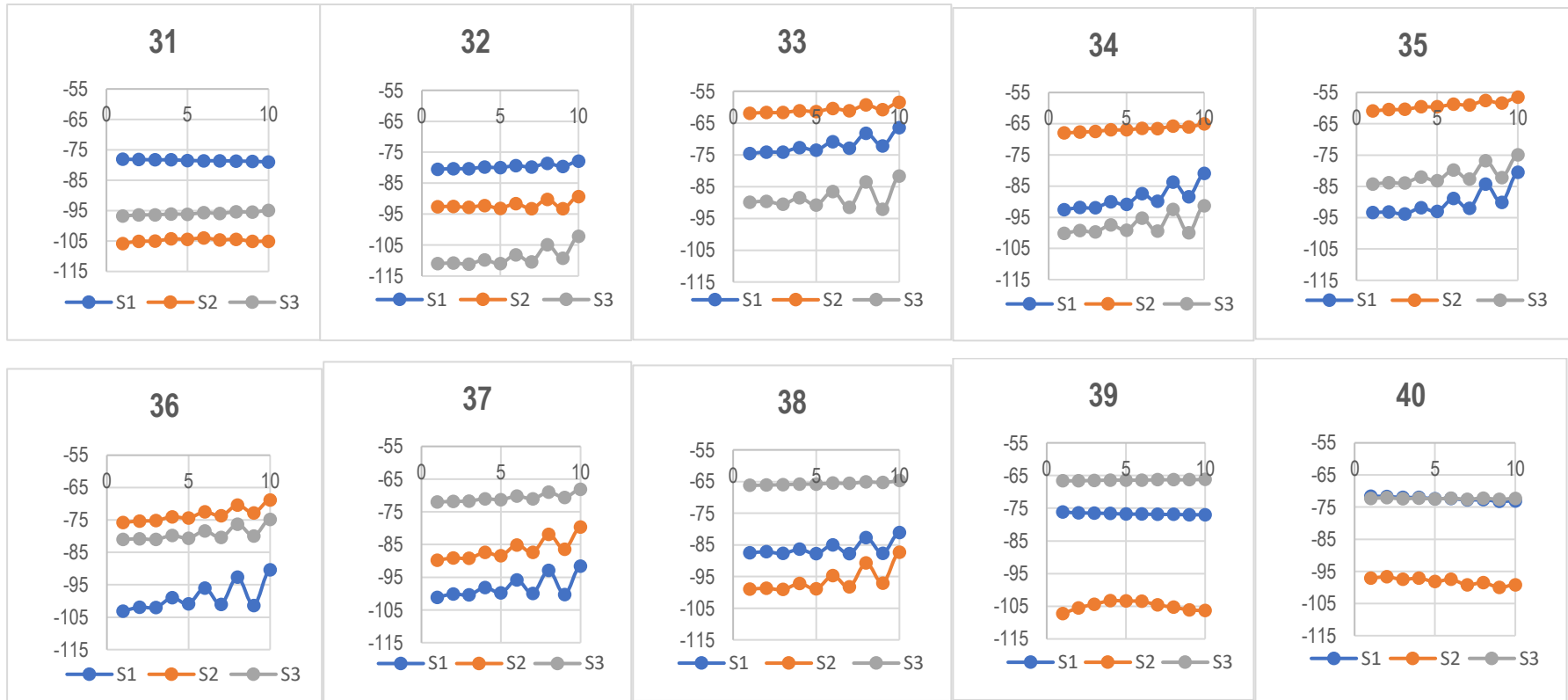


Figura 20: Curvas Nrx por sectores para downtilt 0° a 10° (puntos usuario 31 al 40)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

a. Respecto de la estimación de niveles de señal downlink 700 MHz, en puntos referenciales de usuario con variación del ángulo RET downtilt, se presenta en la en la Figura 20 un resumen de los resultados clasificados por sector.

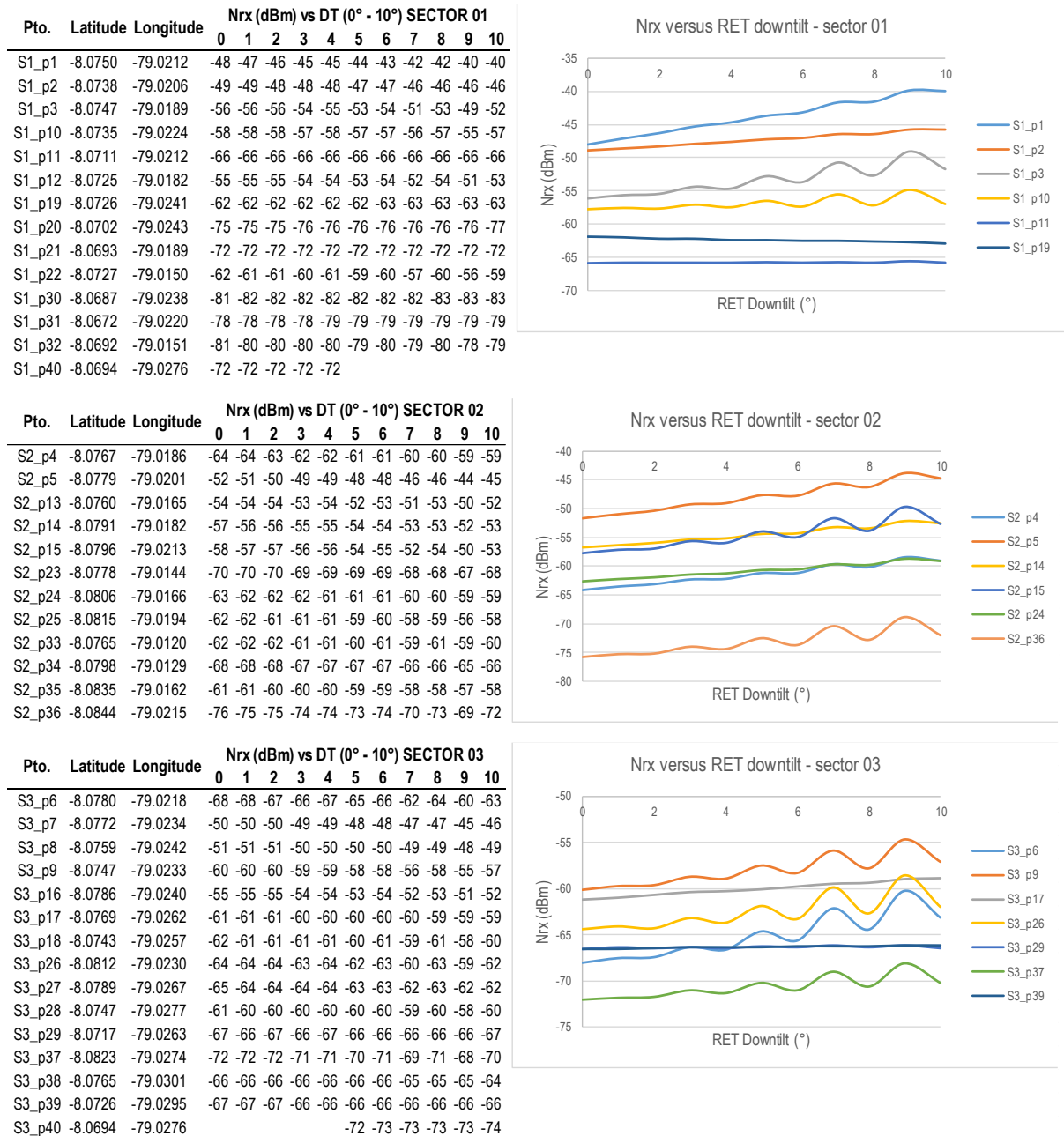


Figura 21. Resumen de Nrx estimados por DT 0-10° y clasificados por sector

En la Figura 20, se presentan los niveles de recepción obtenidos por simulación, clasificados cada sector de servicio (S1, S2, S3), es decir por cada sector desde el cual se obtiene la mayor intensidad de señal en downlink, para cada variación del ángulo downtilt RET (0° -10°).

Por cada sector se presenta un resumen de curvas de variación de los niveles de señal en función del ángulo RET downtilt. En tal sentido se puede apreciar que para el sector 01, el incremento del ángulo downtilt favorece el incremento de señal recibida en los puntos de usuario, existiendo algunos puntos donde el nivel de señal se mantiene con poco incremento o incluso llega a tener decremento de señal.

Respecto del sector 02, todas las curvas obtenidas son favorables en sus puntos de usuario, es decir en todos los puntos evaluados el nivel de señal incrementa con el aumento de downtilt. Del mismo modo en el análisis del sector 03 la mayor parte de los puntos de usuario incrementa el nivel de señal recibido con el incremento de downtilt, apareciendo también puntos en los cuales existe decremento de señal, pero en menor medida que el sector 01.

Cabe destacar que aparte de la variabilidad de señal recibida generada con la variación del ángulo RET downtilt en los diferentes sectores, los niveles referenciales de recepción son más altos en el sector 01, respecto de los otros dos sectores. Asimismo, los niveles de recepción referenciales en el sector 02 son más altos que los obtenidos en el sector 03. En tal sentido se hace necesario emplear una escala de valoración (alto, medio, bajo) para complementar su análisis. En ese orden de ideas, se presentarán los resultados relacionados con el 2do objetivo.

- b. Respecto a la determinación del sector al que correspondería la asignación de cobertura en base a la variabilidad de señal 700 MHz recibida en emplazamientos referenciales de usuario. Se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la Figura 21.

Nivel de recepción (dBm) por ángulo de downtilt (0° - 10°) SECTOR 01												
PTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CV
1	-48	-47	-46	-45	-45	-44	-43	-42	-42	-40	-40	6
2	-49	-49	-48	-48	-48	-47	-47	-46	-46	-46	-46	2
3	-56	-56	-56	-54	-55	-53	-54	-51	-53	-49	-52	4
10	-58	-58	-58	-57	-58	-57	-57	-56	-57	-55	-57	2
11	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	0
12	-55	-55	-55	-54	-54	-53	-54	-52	-54	-51	-53	2
19	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-63	-63	-63	-63	-63	0
20	-75	-75	-75	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-77	1
21	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	0
22	-62	-61	-61	-60	-61	-59	-60	-57	-60	-56	-59	3
30	-81	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-83	-83	-83	1
31	-78	-78	-78	-78	-79	-79	-79	-79	-79	-79	-79	0
32	-81	-80	-80	-80	-80	-79	-80	-79	-80	-78	-79	0
40	-72	-72	-72	-72	-72							0

Escala de clasif. Coef. Variabilidad (CV)		color
Favorable con incremento de downtilt		
Neutral con incremento de downtilt		
Desfavorable con incremento de downtilt		

Escala de clasificación Nrx		color
Nrx_alto	-44 dBm to -68 dBm	
Nrx_medio	-68 dBm to -92 dBm	
Nrx_bajo	-92 dBm to -116 dBm	

Nivel de recepción (dBm) por ángulo de downtilt (0° - 10°) SECTOR 02												
PTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CV
4	-64	-64	-63	-62	-62	-61	-61	-60	-60	-59	-59	3
5	-52	-51	-50	-49	-49	-48	-48	-46	-46	-44	-45	5
13	-54	-54	-54	-53	-54	-52	-53	-51	-53	-50	-52	3
14	-57	-56	-56	-55	-55	-54	-54	-53	-53	-52	-53	3
15	-58	-57	-57	-56	-56	-54	-55	-52	-54	-50	-53	5
23	-70	-70	-70	-69	-69	-69	-69	-68	-68	-67	-68	2
24	-63	-62	-62	-62	-61	-61	-61	-60	-60	-59	-59	2
25	-62	-62	-61	-61	-61	-59	-60	-58	-59	-56	-58	3
33	-62	-62	-62	-61	-61	-60	-61	-59	-61	-59	-60	2
34	-68	-68	-68	-67	-67	-67	-67	-66	-66	-65	-66	1
35	-61	-61	-60	-60	-60	-59	-59	-58	-58	-57	-58	2
36	-76	-75	-75	-74	-74	-73	-74	-70	-73	-69	-72	3

Escala de clasif. Coef. Variabilidad (CV)		color
Favorable con incremento de downtilt		
Neutral con incremento de downtilt		
Desfavorable con incremento de downtilt		

Escala de clasificación Nrx		color
Nrx_alto	-44 dBm to -68 dBm	
Nrx_medio	-68 dBm to -92 dBm	
Nrx_bajo	-92 dBm to -116 dBm	

Nivel de recepción (dBm) por ángulo de downtilt (0° - 10°) SECTOR 03												
PTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CV
6	-68	-68	-67	-66	-67	-65	-66	-62	-64	-60	-63	4
7	-50	-50	-50	-49	-49	-48	-48	-47	-47	-45	-46	3
8	-51	-51	-51	-50	-50	-50	-50	-49	-49	-48	-49	2
9	-60	-60	-60	-59	-59	-58	-58	-56	-58	-55	-57	3
16	-55	-55	-55	-54	-54	-53	-54	-52	-53	-51	-52	3
17	-61	-61	-61	-60	-60	-60	-60	-60	-59	-59	-59	1
18	-62	-61	-61	-61	-61	-60	-61	-59	-61	-58	-60	2
26	-64	-64	-64	-63	-64	-62	-63	-60	-63	-59	-62	3
27	-65	-64	-64	-64	-64	-63	-63	-62	-63	-62	-62	1
28	-61	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-59	-60	-58	-60	1
29	-67	-66	-67	-66	-67	-66	-66	-66	-66	-66	-67	0
37	-72	-72	-72	-71	-71	-70	-71	-69	-71	-68	-70	2
38	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-65	-65	-65	-64	1
39	-67	-67	-67	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	0
40						-72	-73	-73	-73	-73	-74	1

Escala de clasif. Coef. Variabilidad (CV)		color
Favorable con incremento de downtilt		
Neutral con incremento de downtilt		
Desfavorable con incremento de downtilt		

Escala de clasificación Nrx		color
Nrx_alto	-44 dBm to -68 dBm	
Nrx_medio	-68 dBm to -92 dBm	
Nrx_bajo	-92 dBm to -116 dBm	

Figura 22. Clasificación de Nrx por sector, por DT 0-10° y por coef. variabilidad

Para la presentación de resultados en la Figura 21, los niveles de recepción han sido clasificados por la pertenencia a los diferentes sectores de cobertura de acuerdo al mayor nivel de señal recibido en los diferentes ángulos de downtilt. En tal sentido el sector con mayor carga de usuarios es el sector 03 (37%), seguido del sector 01 (34%) y finalmente el sector 02 (29%). La Figura 22 presenta los porcentajes.

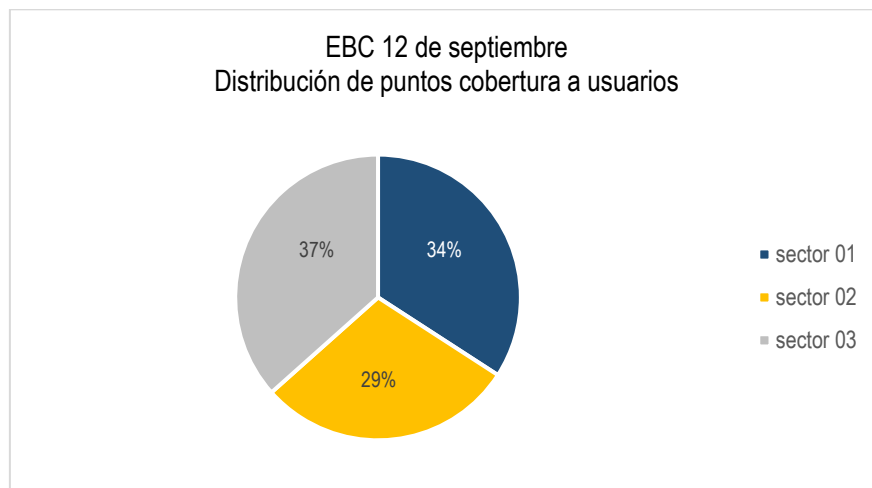


Figura 23. Porcentaje de cobertura de usuarios obtenido por sector

Del mismo modo la presentación de los resultados en la Figura 21, ha utilizado una escala de clasificación por colores para los niveles de señal obtenidos. Es así que, los niveles de recepción más altos obtenidos ($-40 \text{ dBm} \leq \text{Nrx} \leq -68 \text{ dBm}$) están representados en color verde. Los niveles recepción intermedios obtenidos ($-92 \text{ dBm} \leq \text{Nrx} < -68 \text{ dBm}$) están representados en color amarillo, en tanto que los niveles de recepción más bajos obtenidos por simulación ($-116 \text{ dBm} < \text{Nrx} < -92 \text{ dBm}$) están representados en color rojo.

En tal sentido se puede apreciar que para el sector 01 existe una mayoría de niveles de señal altos que se impone ligeramente a los niveles intermedios (57% de niveles recepción en rangos altos versus 43% de niveles en rangos intermedios)

Para el sector 02 se un considerable porcentaje de niveles de señal recibida en rango alto (83 % niveles recepción altos) los cuales se imponen ante los valores de rango intermedio (17% de niveles intermedios)

Para el sector 03 se da el mayor porcentaje de niveles de señal recibida en rango alto (85 % niveles recepción altos) imponiéndose ante un menor rango intermedio (15% de niveles intermedios).

Para la evaluación de la variabilidad de la señal, se ha empleado el indicador coeficiente de variabilidad (CV). Este coeficiente se ha clasificado en 03 escalas de acuerdo a si la variación es favorable (incremento de señal con RET downtilt), neutral (variación despreciable de señal con RET downtilt) o desfavorable (decremento de señal con downtilt). En tal sentido la evaluación más detallada de sus fluctuaciones es presentadas en los resultados obtenidos para el siguiente objetivo.

- c. Respecto de la evaluación del comportamiento de la señal downlink por cada punto y sector de cobertura, de acuerdo al nivel de señal recibido y la fluctuación al variar el RET downtilt. Como se describió en el apartado anterior se consideran los criterios de variabilidad de la señal en base al parámetro de coeficiente de variabilidad (CV). En tal sentido se han considerado clasificaciones de variabilidad favorable, neutral y desfavorable respecto de la variación del ángulo RET downtilt. Los resultados obtenidos por cada sector se detallan en la Figura 23.

Conforme lo mostrado en la Figura 23, respecto del sector 01, se identifican un 50% de puntos de recepción de señal evaluados con una variabilidad favorable al incremento de RET downtilt, contra un 36% de puntos con variabilidad neutra y 14 % de puntos con variabilidad de señal desfavorable al incremento de RET downtilt.

Respecto del sector 02, el 100% de puntos evaluados presentan una variabilidad favorable al incremento de downtilt. Este sector se considera el que tiene el perfil mas favorable para una concentración uniforme de señal downlink con el uso de RET downtilt.

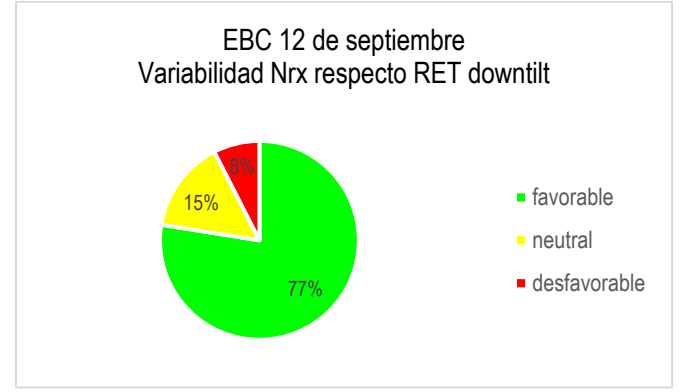
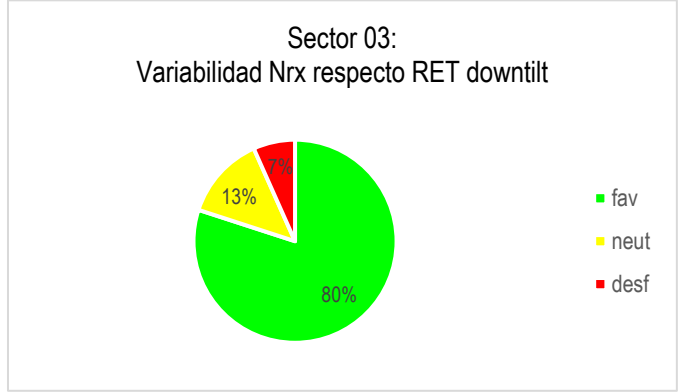
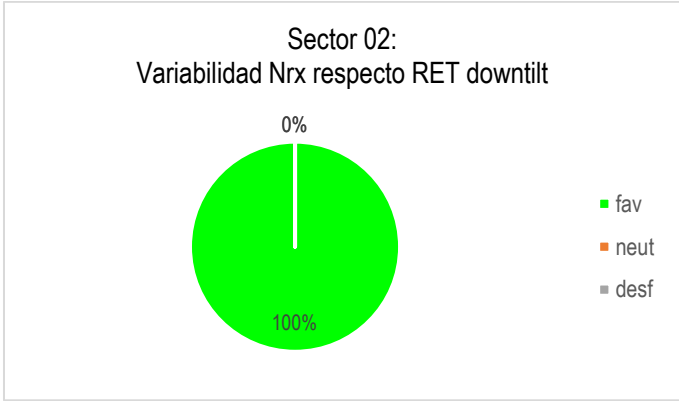
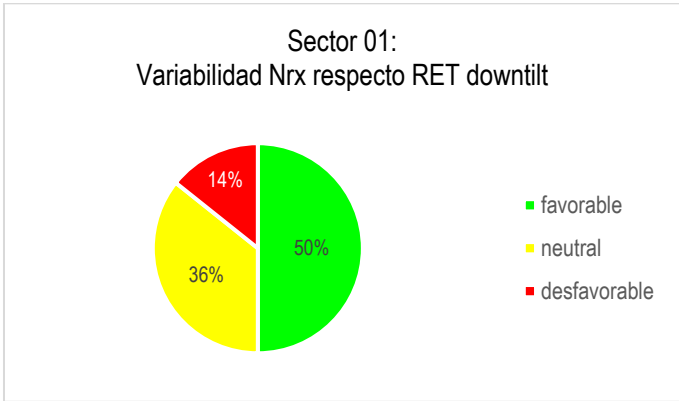


Figura 24. Variabilidad de señal con RET Downtilt por sector y EBC

Del mismo modo respecto del sector 03, se identifica en la Figura 23, un 80% de puntos de recepción identificados con variabilidad favorable al incremento de downtilt, en tanto que se identifica un 13% de puntos neutrales y 7% de puntos desfavorables al incremento de RET downtilt.

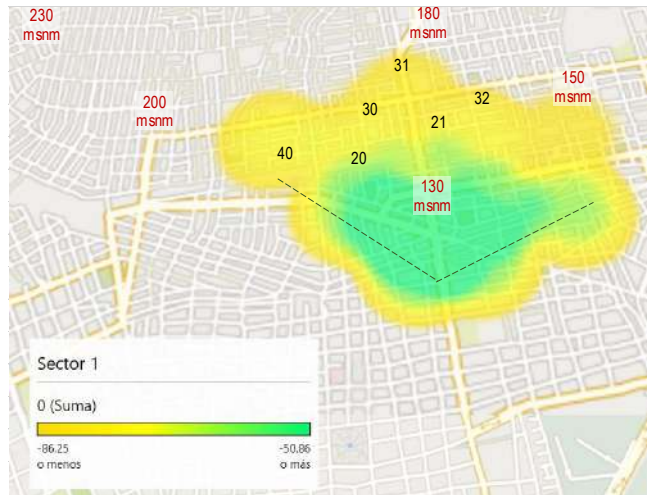
En este orden de ideas, se ha estimado este indicador de variabilidad totalizando los porcentajes para los 03 sectores. Es así que para la EBC 12 de septiembre se identifica un 77% de puntos con variabilidad favorable al incremento de downtilt, contra un 15% de puntos neutrales y un 8% de puntos con variabilidad de señal desfavorable al incremento de RET downtilt.

- d. Respecto de las condiciones de diseño downtilt RET que pueden proponerse para favorecer el comportamiento de la señal recibida en la banda de 700 MHz para la estación celular EBC 12 de septiembre, en el distrito de Florencia de Mora, Trujillo. La Figura 24 permite identificar condiciones de diseño recomendables para el downtilt de cada sector.

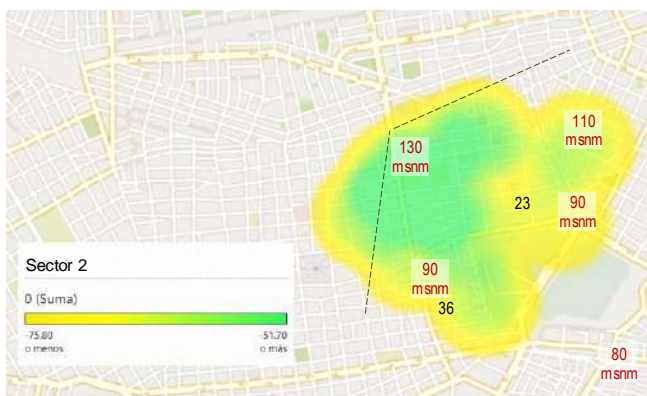
En la Figura 24, para el sector 01, se puede apreciar que el 57% de puntos evaluados se encuentra en rangos de niveles de recepción altos, en tanto que el 43% se encuentra en niveles medios. Cabe destacar que los puntos de nivel medio, tienden a degradarse y hasta perder cobertura con el aumento de downtilt RET a partir de 5°. En tal sentido se observa que estos puntos intermedios se encuentran en una zona límite donde se otorga cobertura en un perfil geográfico de terreno en subida. Con todo ello se podría recomendar el uso de valores menores a 5° respecto del valor de RET downtilt.

Con la misma forma de observación, para el sector 02, se puede apreciar que el 83% de puntos se encuentra en rangos de recepción de señal altos, en tanto que el 17% se encuentra en niveles medios. Cabe destacar que todos los puntos de nivel alto y medio, tienden a incrementar el nivel de señal con el aumento de downtilt RET a partir de 7°.

PTO	Latitude	Longitude	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-8.0750	-79.0212	-48	-47	-46	-45	-45	-44	-43	-42	-42	-40	-40
2	-8.0738	-79.0206	-49	-49	-48	-48	-48	-47	-47	-46	-46	-46	-46
3	-8.0747	-79.0189	-56	-56	-56	-54	-55	-53	-54	-51	-53	-49	-52
10	-8.0735	-79.0224	-58	-58	-58	-57	-58	-57	-57	-56	-57	-55	-57
11	-8.0711	-79.0212	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66
12	-8.0725	-79.0182	-55	-55	-55	-54	-54	-53	-54	-52	-54	-51	-53
19	-8.0726	-79.0241	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-63	-63	-63	-63	-63
20	-8.0702	-79.0243	-75	-75	-75	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-77
21	-8.0693	-79.0189	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72
22	-8.0727	-79.0150	-62	-61	-61	-60	-61	-59	-60	-57	-60	-56	-59
30	-8.0687	-79.0238	-81	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-83	-83	-83
31	-8.0672	-79.0220	-78	-78	-78	-78	-79	-79	-79	-79	-79	-79	-79
32	-8.0692	-79.0151	-81	-80	-80	-80	-80	-79	-80	-79	-80	-78	-79
40	-8.0694	-79.0276	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72



PTO	Latitude	Longitude	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	-8.0767	-79.0186	-64	-64	-63	-62	-62	-61	-61	-60	-60	-59	-59
5	-8.0779	-79.0201	-52	-51	-50	-49	-49	-48	-48	-46	-46	-44	-45
13	-8.0760	-79.0165	-54	-54	-54	-53	-54	-52	-53	-51	-53	-50	-52
14	-8.0791	-79.0182	-57	-56	-56	-55	-55	-54	-54	-53	-53	-52	-53
15	-8.0796	-79.0213	-58	-57	-57	-56	-56	-54	-55	-52	-54	-50	-53
23	-8.0778	-79.0144	-70	-70	-70	-69	-69	-69	-69	-68	-68	-67	-68
24	-8.0806	-79.0166	-63	-62	-62	-62	-61	-61	-61	-60	-60	-59	-59
25	-8.0815	-79.0194	-62	-62	-61	-61	-61	-59	-60	-58	-59	-56	-58
33	-8.0765	-79.0120	-62	-62	-62	-61	-61	-60	-61	-59	-61	-59	-60
34	-8.0798	-79.0129	-68	-68	-68	-67	-67	-67	-67	-66	-66	-65	-66
35	-8.0835	-79.0162	-61	-61	-60	-60	-60	-59	-59	-58	-58	-57	-58
36	-8.0844	-79.0215	-76	-75	-75	-74	-74	-73	-74	-70	-73	-69	-72



PTO	Latitude	Longitude	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	-8.0780	-79.0218	-68	-68	-67	-66	-67	-65	-66	-62	-64	-60	-63
7	-8.0772	-79.0234	-50	-50	-50	-49	-49	-48	-48	-47	-47	-45	-46
8	-8.0759	-79.0242	-51	-51	-51	-50	-50	-50	-50	-49	-49	-48	-49
9	-8.0747	-79.0233	-60	-60	-60	-59	-59	-58	-58	-56	-58	-55	-57
16	-8.0786	-79.0240	-55	-55	-55	-54	-54	-53	-54	-52	-53	-51	-52
17	-8.0769	-79.0262	-61	-61	-61	-60	-60	-60	-60	-59	-59	-59	-59
18	-8.0743	-79.0257	-62	-61	-61	-61	-61	-60	-61	-59	-61	-58	-60
26	-8.0812	-79.0230	-64	-64	-64	-63	-64	-62	-63	-60	-63	-59	-62
27	-8.0789	-79.0267	-65	-64	-64	-64	-64	-63	-63	-62	-63	-62	-62
28	-8.0747	-79.0277	-61	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-59	-60	-58	-60
29	-8.0717	-79.0263	-67	-66	-67	-66	-67	-66	-66	-66	-66	-66	-67
37	-8.0823	-79.0274	-72	-72	-72	-71	-71	-70	-71	-69	-71	-68	-70
38	-8.0765	-79.0301	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-65	-65	-65	-64
39	-8.0726	-79.0295	-67	-67	-67	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66	-66
40	-8.0694	-79.0276	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72

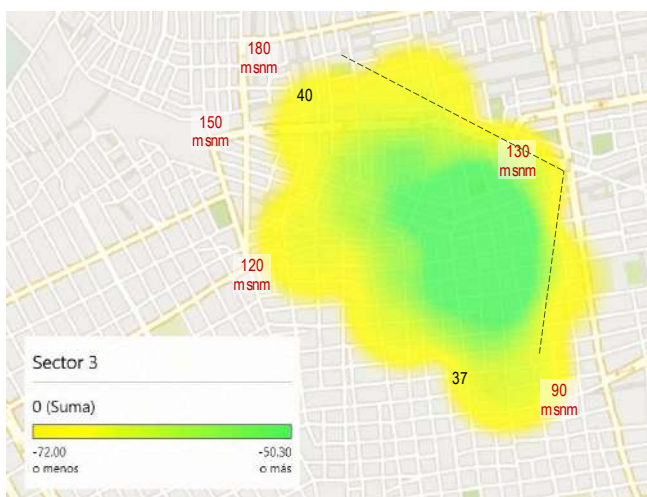


Figura 25. Identificación condiciones favorables RET downtilt por sector

En la misma Figura 24, respecto del sector 02 se puede identificar que la zona geográfica de cobertura está dirigida a un perfil geográfico de terreno en descenso, lo cual favorece el incremento de señal con el aumento del RET downtilt. Tomando como referencia el comportamiento del punto 23, se podría recomendar el uso de valores a partir de 7° o mayores para el ángulo RET downtilt.

Respecto del sector 03, en la Figura 24 se puede identificar que el 86% de los puntos evaluados se encuentran en nivel de recepción alto, en tanto que el 14% se encuentra en niveles de señal intermedio. Se destaca que todos los emplazamientos evaluados a excepción del emplazamiento 40 aumentan el nivel de señal con el aumento de downtilt. En este sentido el emplazamiento 40 se identifica como el de recepción más crítica evaluado, el cual se encuentra en el límite de cobertura del sector 03 y es desfavorecido dado que dicho sector encuentra alumbrando parcialmente a una zona en declive, siendo el punto 40 el menos favorecido por encontrarse en la parte mas alta del terreno en cobertura.

Conforme los datos presentados en la Figura 24 para el sector 03, tomando en cuenta favorecer la señal en la zona de cobertura nor oeste del sector 03, y favorecer la señal recibida al resto de puntos de cobertura, se recomienda el empleo de un ángulo a partir de 5° para downtilt RET en este sector.

4.2 Docimacia de Hipótesis

Conforme a los resultados de simulación presentados en el apartado anterior, se ha podido identificar que el incremento de downtilt RET en el sector 01 genera una variabilidad favorable (aumento de señal downlink) en el 50% de emplazamientos, del mismo modo se genera una variabilidad favorable en el 100% de emplazamientos del sector 02, asimismo se obtiene una variabilidad favorable en el 80% de emplazamientos del sector 03. Esto se refleja en un 77% de emplazamientos de la EBC 20 de septiembre con un aumento favorable de señal al aumentar el ángulo RET downtilt.

En este orden de ideas los autores afirman que el incremento del ángulo downtilt favorece el nivel de señal que reciben los emplazamientos atendidos por la EBC 12 de septiembre, habiéndose cumplido con ello con la hipótesis propuesta en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Respecto a los niveles de señal downlink 700 MHz estimados con la variación del ángulo RET downtilt en puntos referenciales de recepción de usuario, los niveles se estimaron considerando la recepción de señal en todos los puntos referenciales desde cada uno de sectores evaluados. De esta forma los rangos de mayor señal recibida llegaron hasta -40 dBm, en establecer escalas de clasificación de niveles de señal recibida (alto, medio, bajo), teniendo similitud con los niveles obtenidos por simulación por Angulo D. y Barrena L. (2022).
- Para cada punto de recepción evaluado se estimó el nivel de señal proveniente desde cada sector (S1, S2, S3). El nivel más alto de señal de los 03 sectores fue empleado para asociar el sector de cobertura. De esta forma el sector 03 obtuvo la cobertura del 37% de puntos, seguido por el sector 01 con el 34% y finalmente el sector 02 con el 29%. En este sentido se tiene coincidencia con la investigación de Buenestado, M. et al. (2017) y Guodong. Li. et al. (2018), respecto de la evaluación de la carga de sector y celda o EBC; sin embargo, se considera que el análisis realizado puede ser ampliado tomando como base no solamente la señal recibida, sino también el SNR o parámetro equivalente resultante, debiendo para ello modelar las posibles interferencias circundantes a la estación base.
- Respecto del comportamiento de la variabilidad de señal, se analizó la tendencia de incremento del nivel de señal con el incremento de RET downtilt. Esta tendencia de aumento favorable pudo ser identificada en el 100% de los puntos evaluados en el sector 02, seguido del 80% en el sector 03 y el 50% de puntos evaluados en el sector 01. A nivel de toda la EBC 12 de septiembre (tres sectores), se obtuvo un 77% de puntos con esta condición favorable, en tanto que el 15% poseen una variación poco considerable, asimismo un 8% de puntos con tendencia a decremento de señal con el incremento de RET downtilt, siendo el sector 01 donde se identifica la mayor cantidad de puntos neutros y desfavorables.

- Las condiciones de variabilidad desfavorable de señal con RET downtilt, mayormente identificadas en el sector 01 son generadas debido a que la zona de cobertura a la que está dirigida, se encuentra en una pendiente de ascenso o subida, por lo cual al incrementar el ángulo RET downtilt a partir de los 5°, produce degradaciones sobre todo en los puntos límites de alcance. El caso es distinto para el sector 02 en donde por estar dirigido a dar cobertura a una zona de pendiente descendente, la señal se favorece con el incremento del ángulo downtilt recomendándose ángulos a partir de 7° o mayores. Para el caso del sector 03 la situación es similar recomendándose ángulos a partir de 5° de downtilt a fin de cubrir la zona límite de cobertura nor oeste.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI. CONCLUSIONES

- Respecto de los niveles de señal downlink con variación RET downtilt

obtenidos en cada punto referencial de usuario, se estimaron los niveles de señal provenientes de cada sector de la EBC, obteniéndose con ello los rangos para clasificación de los rangos de señal (bajo, medio, alto), asimismo el nivel de señal más alto en cada punto, permitió identificar el sector asociado a su cobertura.

- La determinación del sector de la EBC al que correspondería la asignación de cobertura de cada punto evaluado, se realizó en base al nivel más alto de señal. Esto permitió a la vez estimar la carga de cada sector, siendo el de mayor carga el sector 03 con 37% de usuarios, seguido del sector 01 con 34% de usuarios y el sector 02 con 29% de usuarios. De igual forma se identificó una variabilidad favorable de señal (incremento de señal recibida) con el incremento de downtilt.
- La evaluación de cada punto y sector en base a los niveles de señal y tendencias de variabilidad favorables (aumento de señal con mayor RET downtilt), permitió identificar al sector 02 como el más favorecido llegando al 100% de puntos con variabilidad favorable y 83% de puntos en rango alto de señal, seguido por el sector 03 con 80% de puntos con variabilidad favorable y 86% de puntos en rango alto. El sector 01 es el menos favorecido con 50% de puntos con variabilidad favorable y 56% de puntos en rango de señal alto.
- La evaluación de los puntos y mapas de calor por cada sector permitió identificar las ventajas y limitaciones geográficas de cada sector, siendo el sector 02 el más favorecido con el downtilt debido a que su área de cobertura alumbró a una zona de pendiente descendente, seguido por el sector 03 el cual alumbró a un área geográfica parcialmente descendente, y siendo el sector 01 el menos favorecido por alumbrar a una zona geográfica en pendiente ascendente.
- En tal sentido se pudieron identificar ángulos de mayor RET downtilt a partir de 7° en adelante para favorecer al sector 02, ángulos a partir de

5° en adelante para favorecer al sector 03 y ángulos RET downtilt menores a 5° para favorecer al sector 01.

VII. RECOMENDACIONES

- La obtención de múltiples datos de señal downlink en cada punto de usuario proveniente de los diferentes sectores de la EBC para diferentes ángulos RET downtilt, permite profundizar el análisis en aspectos tales como la carga de señalización o handover que podría asignarse a cada sector. En tal sentido se recomienda poder ampliar la presente investigación hacia dichos aspectos.
- El análisis realizado ha tomado como base un conjunto de 40 puntos referenciales de recepción de usuarios, en tal sentido los autores consideran que el análisis se puede ampliar con un análisis de tipo route radio coverage a fin de acercarse más al análisis real empleado por los operadores nacionales (drive test).

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrew Commscope Corporation (2022) Base Station Antennas, Single-/Dual-Polarized Sector, Illinois, United States.

Zhang, Y., Lin, T., & Ding, G. (2017). Downtilt optimization for network performance improvement in dense urban areas. *Wireless Personal Communications*, 92(3), 987-1003.

J. Niemela and J. Lempiainen, "Impact of mechanical antenna downtilt on performance of WCDMA cellular network," 2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference. VTC 2004-Spring (IEEE Cat. No.04CH37514), Milan, Italy, 2004, pp. 2091-2095 Vol.4, doi: 10.1109/VETECS.2004.1390642.

Pollock, J. (2017). Downtilt: How to set it (pp. 1–4). 15397 - 117 Ave. Edmonton, Alberta, Canada, T5M3X4: KP Performance. Recuperado de:
<https://www.kpperformance.com/Pages/Technical-Articles/White%20Paper%20-%20Downtilt-How%20to%20set%20it.pdf>

Sina technology 5G (17 de noviembre de 2022). intensidad de señal en el telefono movil. finance sina. Recuperado el 24 de mayo del 2023 de:
<https://finance.sina.com.cn/tech/2022-11-17/doc-imqqsmrp6459357.shtm>

Aderibighe, G., Kolawole, M., & Adeloye, V. (2011). Effects of Antenna Tilting on Transmitting Power in Mobile Cellular Communication Systems (pp. 464–467). Akule, Nigeria: scientific research. Recuperado de:
https://www.scirp.org/pdf/IJCNS20110700001_54172352.pdf

V. Buenestado, M. Toril, S. Luna-Ramírez, JM Ruiz-Avilés y A. Mendo, "Self-tuning of Remote Electrical Tilts Based on Call Traces for Coverage and Capacity Optimization in LTE", en *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, núm. 5, págs. 4315-4326, mayo de 2017, doi: 10.1109/TVT.2016.2605380.

Angulo D. y Barrantes L. (2022) "IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESVANECIMIENTO EN FRECUENCIA, MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN CENTRO POBLADO RURAL EN DIFERENTES BANDAS DE ACCESO, LA LIBERTAD, 2020." Obtenido del repositorio de UPAO:

<https://hdl.handle.net/20.500.12759/8904>

Buenestado V. (2017) En su tesis doctoral "Optimización de la cobertura y la capacidad en redes LTE mediante procesamiento de eventos complejos".

Obtenido del repositorio de la Universidad de Málaga:

https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/15793/TD_BU_ENESTADO_GARCIA_Victor.pdf

G. Li, J. Wu, Z. Chen, X. Luo, T. Tang y Z. Xu, "Análisis y evaluación de rendimiento para conjuntos de antenas activas bajo el modelo de canal inalámbrico tridimensional", en IEEE Access, vol. 6, págs. 19131-19139, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2791429.

Obtenido de:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8252916&isnumber=8274985>

Esquema de downtilt en estación base. (2023, febrero 12).

Recuperado 28 de mayo de 2023, de:

<https://images.app.goo.gl/ocs3dirucSykMbDg9>

Alcance y cobertura según inclinación de antena. (2022, noviembre 17).

Recuperado 28 de mayo de 2023, de:

<https://www.bds666.com/Data/bds666/upload/image/20221130/6380542077516264065525278.png>

Diagrama de radicación del downtilt mecánico. (2012, octubre 11).

Rfwireless-World. Recuperado 28 de mayo de 2023, de:

<https://www.rfwireless-world.com/images/mechanical-tilt.jpg>

Andrew Ward. (2010). El tráfico de datos supera a las llamadas de voz.

<https://www.expansion.com/2010/03/25/financialtimes/1269524347.html>

Monica Ramirez Panduro. (30-01-2023). Análisis de cobertura de estaciones base para antenas 4G y 5G. [Tesis doctoral o de maestría, Universidad Oberta de Catalunya].

https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/147465/5/monicaarp_TFM0123memoria.pdf

Niemelä, J., Isotalo, T. & Lempiäinen, J. Ángulos óptimos de inclinación hacia abajo de la antena para la red WCDMA macrocelular. J

Wireless Com Network 2005, 610942 (2005).
<https://doi.org/10.1155/WCN.2005.816>

Gildardo Alejandro Espinoza Jiménez. (2016). Proceso de implementación de una radiobase para la tecnología de LTE. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://docplayer.es/44790463-Proceso-de-implementacion-de-una-radiobase-para-la-tecnologia-de-lte.html>.

RFwireless. (2012). Ángulo de Downtilt y Beamwidth de la estación base celular [Imagen]. Recuperado de:
<https://www.rfwireless-world.com/images/antenna-downtilt-calculator.jpg>

Naran Khokshanov. (2022). Mobile stations KPI before and after RET optimization. IEEE Dataport.
<https://dx.doi.org/10.21227/s8p6-0f81>

Narán, J. (2022). KPI DE ESTACIONES MÓVILES ANTES Y DESPUÉS DE LA OPTIMIZACIÓN RET [Imagen]. Recuperado de:
https://encryptedbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR3qv_56mECJz2vW8MhFrJDyl7fh2-1gH7WAyI9VSrjgy4VUzFC

Commscope (2023). Recuperado el 31 de mayo de 2023, de:
<https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/3212-remote-electrical-downtilt-systems-br-110027-en.pdf>

Xiaobing, X. (2022). Conceptos básicos de antena en su máxima expresión.
Recuperado de:
<https://www.eet-china.com/mp/a123749.html>

Niemelä, J., Isotalo, T. & Lempiäinen, J. Optimum Antenna Downtilt Angles for Macrocellular WCDMA Network. J Wireless Com Network 2005, 610942 (2005).
<https://doi.org/10.1155/WCN.2005.816>

ANEXOS

ANEXO 01: Niveles de señal obtenidos desde todos los sectores de cobertura y clasificados por sector predominante para variación RET downtilt (0° a 10°)

SECTOR 01: AZIMUTH 8° DT 8°

ALTURA: 30m

RPE: 700 MHz P1L_+45

REF_FREQ: 718 MHz

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3			
	01	01	01	02	02	02	03	03	03	10	10	10	11	11	11	12	12	12	19	19	19
00_DT	-48	-73	-64	-49	-74	-76	-56	-60	-88	-58	-87	-67	-66	-93	-86	-55	-68	-87	-62	-88	-64
01_DT	-47	-73	-63	-49	-73	-75	-56	-59	-89	-58	-87	-66	-66	-92	-86	-55	-68	-87	-62	-88	-64
02_DT	-46	-73	-63	-48	-73	-75	-56	-59	-89	-58	-88	-66	-66	-92	-86	-55	-68	-87	-62	-88	-64
03_DT	-45	-71	-61	-48	-71	-73	-54	-58	-86	-57	-87	-65	-66	-91	-85	-54	-67	-85	-62	-88	-64
04_DT	-45	-72	-62	-48	-72	-74	-55	-59	-87	-58	-90	-66	-66	-91	-85	-54	-68	-87	-62	-89	-64
05_DT	-44	-68	-59	-47	-69	-71	-53	-57	-82	-57	-86	-64	-66	-90	-84	-53	-66	-83	-62	-89	-63
06_DT	-43	-71	-60	-47	-72	-73	-54	-58	-85	-57	-91	-65	-66	-91	-85	-54	-68	-86	-63	-90	-63
07_DT	-42	-64	-55	-46	-66	-67	-51	-55	-76	-56	-84	-61	-66	-90	-83	-52	-64	-78	-63	-90	-63
08_DT	-42	-69	-58	-46	-72	-71	-53	-57	-83	-57	-93	-65	-66	-92	-84	-54	-68	-84	-63	-91	-63
09_DT	-40	-61	-52	-46	-64	-63	-49	-53	-72	-55	-84	-60	-66	-89	-82	-51	-63	-74	-63	-91	-63
10_DT	-40	-68	-56	-46	-71	-70	-52	-57	-80	-57	-94	-64	-66	-92	-83	-53	-68	-82	-63	-91	-63

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	20	20	20	21	21	21	22	22	22	30	30	30	31	31	31	32	32	32	40	40	40
00_DT	-75	-105	-83	-72	-96	-101	-62	-64	-99	-81	-113	-94	-78	-106	-97	-81	-93	-111	-72	-97	-72
01_DT	-75	-104	-83	-72	-96	-101	-61	-64	-99	-82	-112	-93	-78	-105	-96	-80	-93	-111	-72	-97	-72
02_DT	-75	-105	-83	-72	-96	-101	-61	-64	-99	-82	-113	-93	-78	-105	-96	-80	-93	-111	-72	-98	-72
03_DT	-76	-106	-83	-72	-96	-100	-60	-63	-96	-82	-112	-93	-78	-104	-96	-80	-92	-110	-72	-97	-72
04_DT	-76	-107	-83	-72	-96	-100	-61	-64	-96	-82	-113	-93	-79	-104	-96	-80	-93	-111	-72	-98	-73
05_DT	-76	-108	-83	-72	-96	-99	-59	-62	-91	-82	-113	-93	-79	-104	-96	-79	-92	-108	-72	-98	-72
06_DT	-76	-110	-83	-72	-96	-99	-60	-64	-94	-82	-114	-93	-79	-105	-96	-80	-93	-110	-73	-99	-73
07_DT	-76	-110	-83	-72	-96	-98	-57	-61	-85	-82	-114	-93	-79	-104	-95	-79	-90	-105	-73	-99	-72
08_DT	-76	-112	-83	-72	-96	-97	-60	-64	-92	-83	-115	-93	-79	-105	-96	-80	-93	-109	-73	-100	-73
09_DT	-76	-112	-83	-72	-96	-97	-56	-60	-80	-83	-115	-93	-79	-105	-95	-78	-89	-102	-73	-99	-72
10_DT	-77	-113	-83	-72	-96	-96	-59	-64	-90	-83	-116	-93	-79	-106	-95	-79	-93	-108	-74	-101	-73

SECTOR 02: AZIMUTH 125° DT 9°

ALTURA: 30m

RPE: 700 MHz P1L_+45

REF_FREQ: 718 MHz

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	04	04	04	05	05	05	13	13	13	14	14	14	15	15	15	23	23	23	24	24	24
00_DT	-82	-64	-93	-79	-52	-72	-66	-54	-82	-95	-57	-82	-84	-58	-62	-89	-70	-100	-98	-63	-88
01_DT	-82	-64	-93	-79	-51	-71	-65	-54	-82	-94	-56	-81	-83	-57	-62	-88	-70	-100	-97	-62	-88
02_DT	-82	-63	-94	-80	-50	-71	-65	-54	-83	-93	-56	-81	-83	-57	-62	-88	-70	-101	-97	-62	-88
03_DT	-80	-62	-93	-78	-49	-70	-64	-53	-80	-90	-55	-79	-80	-56	-61	-87	-69	-100	-94	-62	-85
04_DT	-81	-62	-96	-79	-49	-71	-64	-54	-82	-90	-55	-80	-82	-56	-62	-87	-69	-103	-94	-61	-86
05_DT	-77	-61	-92	-75	-48	-68	-62	-52	-78	-85	-54	-76	-77	-54	-60	-84	-69	-99	-90	-61	-83
06_DT	-79	-61	-97	-78	-48	-70	-64	-53	-83	-86	-54	-79	-82	-55	-61	-87	-69	-104	-92	-61	-86
07_DT	-74	-60	-90	-70	-46	-64	-59	-51	-74	-79	-53	-73	-74	-52	-57	-81	-68	-97	-84	-60	-80
08_DT	-78	-60	-98	-76	-46	-69	-63	-53	-83	-84	-53	-79	-82	-54	-60	-86	-68	-106	-89	-60	-86
09_DT	-71	-59	-89	-66	-44	-62	-57	-50	-72	-74	-52	-71	-71	-50	-55	-79	-67	-97	-80	-59	-78
10_DT	-76	-59	-98	-73	-45	-67	-62	-52	-83	-81	-53	-79	-81	-53	-59	-84	-68	-107	-87	-59	-86

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	36
00_DT	-75	-62	-90	-93	-68	-100	-93	-61	-84	-103	-76	-81
01_DT	-74	-62	-90	-92	-68	-99	-93	-61	-84	-102	-75	-81
02_DT	-74	-62	-91	-92	-68	-100	-94	-60	-84	-102	-75	-81
03_DT	-73	-61	-89	-90	-67	-98	-92	-60	-82	-99	-74	-80
04_DT	-74	-61	-91	-91	-67	-99	-93	-60	-83	-101	-74	-81
05_DT	-71	-60	-87	-88	-67	-95	-89	-59	-80	-96	-73	-78
06_DT	-73	-61	-92	-90	-67	-100	-92	-59	-83	-101	-74	-80
07_DT	-68	-59	-84	-84	-66	-93	-84	-58	-77	-93	-70	-76
08_DT	-72	-61	-92	-89	-66	-100	-90	-58	-82	-101	-73	-80
09_DT	-66	-59	-82	-81	-65	-91	-81	-57	-75	-90	-69	-75
10_DT	-71	-60	-92	-87	-66	-101	-88	-58	-82	-101	-72	-79

SECTOR 03: AZIMUTH 260° DT 10°

ALTURA: 30m

RPE: 700 MHz P1L_+45

REF_FREQ: 718 MHz

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	06	06	06	07	07	07	08	08	08	09	09	09	16	16	16	17	17	17	18	18	18
00_DT	-89	-72	-68	-75	-77	-50	-70	-82	-51	-65	-90	-60	-83	-75	-55	-85	-101	-61	-72	-106	-62
01_DT	-89	-71	-68	-74	-77	-50	-69	-81	-51	-65	-89	-60	-82	-75	-55	-84	-100	-61	-72	-103	-61
02_DT	-90	-71	-67	-74	-77	-50	-70	-82	-51	-65	-89	-60	-82	-74	-55	-85	-101	-61	-72	-102	-61
03_DT	-88	-70	-66	-72	-75	-49	-69	-80	-50	-64	-86	-59	-80	-73	-54	-83	-98	-60	-71	-98	-61
04_DT	-91	-70	-67	-73	-75	-49	-70	-81	-50	-65	-88	-59	-81	-73	-54	-84	-99	-60	-72	-100	-61
05_DT	-86	-67	-65	-69	-72	-48	-67	-77	-50	-63	-83	-58	-77	-70	-53	-81	-94	-60	-70	-96	-60
06_DT	-91	-69	-66	-72	-74	-48	-70	-81	-50	-65	-88	-58	-81	-72	-54	-84	-96	-60	-72	-101	-61
07_DT	-83	-64	-62	-66	-67	-47	-65	-73	-49	-61	-79	-56	-74	-66	-52	-78	-87	-60	-68	-93	-59
08_DT	-90	-67	-64	-72	-72	-47	-70	-79	-49	-64	-88	-58	-81	-71	-53	-84	-93	-59	-72	-101	-61
09_DT	-80	-62	-60	-64	-63	-45	-63	-69	-48	-60	-77	-55	-72	-64	-51	-77	-83	-59	-67	-90	-58
10_DT	-89	-65	-63	-72	-70	-46	-69	-78	-49	-64	-88	-57	-81	-69	-52	-83	-91	-59	-72	-100	-60

DT	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	37	37	37	38	38	38	39	39	39
00_DT	-87	-68	-64	-90	-92	-65	-75	-95	-61	-69	-94	-67	-101	-90	-72	-88	-99	-66	-76	-107	-67
01_DT	-86	-68	-64	-89	-92	-64	-75	-95	-60	-69	-93	-66	-100	-89	-72	-87	-99	-66	-76	-106	-67
02_DT	-87	-68	-64	-89	-92	-64	-76	-95	-60	-69	-94	-67	-100	-89	-72	-88	-99	-66	-77	-104	-67
03_DT	-85	-66	-63	-87	-90	-64	-75	-93	-60	-69	-93	-66	-98	-87	-71	-86	-97	-66	-77	-103	-66
04_DT	-87	-67	-64	-88	-91	-64	-76	-94	-60	-69	-93	-67	-100	-88	-71	-88	-99	-66	-77	-103	-66
05_DT	-83	-65	-62	-84	-87	-63	-74	-90	-60	-69	-93	-66	-96	-85	-70	-85	-95	-66	-77	-104	-66
06_DT	-88	-66	-63	-88	-89	-63	-76	-93	-60	-69	-94	-66	-100	-87	-71	-88	-98	-66	-77	-105	-66
07_DT	-80	-62	-60	-81	-82	-62	-72	-85	-59	-69	-93	-66	-93	-82	-69	-83	-91	-65	-77	-105	-66
08_DT	-88	-65	-63	-88	-88	-63	-76	-92	-60	-70	-94	-66	-100	-86	-71	-88	-97	-65	-77	-106	-66
09_DT	-78	-60	-59	-80	-79	-62	-71	-82	-58	-70	-94	-66	-92	-80	-68	-81	-87	-65	-77	-106	-66
10_DT	-88	-64	-62	-88	-86	-62	-76	-90	-60	-70	-95	-67	-101	-85	-70	-87	-96	-64	-77	-107	-66