

**USO DE ANTENAS OMNIDIRECCIONALES EN LA MEDICIÓN
DE LTE, DOWNLINK**

MANUEL ANDRÉS BELLO LEÓN

JUAN CARLOS PINZÓN FLÓREZ

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:

FABIO TÉLLEZ BARÓN

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MAYO 2019

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: TELECOMUNICACIONES

**USO DE ANTENAS OMNIDIRECCIONALES EN LA MEDICIÓN DE LTE,
DOWNLINK**

Manuel Andrés Bello León

Juan Carlos Pinzón Flórez

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
Fabio Téllez Barón

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

AGRADECIMIENTOS

Como agradecimiento principal, queremos agradecer a nuestro director de proyecto el Ingeniero Fabio Téllez que nos dio su voto de confianza para realizar esta investigación y todo su apoyo en cuanto al conocimiento que nos brindó para culminar este proyecto

A todos los docentes que nos aportaron un grano de arena para que pudiéramos realizar este proyecto con las ideas esenciales y culminar todo lo propuesto

Como agradecimiento especial queremos Agradecerle a Dios y a nuestras familias por ser nuestro apoyo desde que iniciamos este proyecto la cual nos motivaron para culminar satisfactoriamente este reto en la carrera.

RESUMEN

La Universidad El Bosque cuenta con el grupo de investigación y desarrollo de Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida el cual se encarga de desarrollar estudios relacionados a todas las perspectivas de los campos magnéticos y electromagnéticos en nuestra salud y vida cotidiana, estos campos magnéticos variables son producidos por diferentes tipos de dispositivos, todos estos relacionados comúnmente con el área de las telecomunicaciones. La intención del estudio a realizar es determinar y comparar el comportamiento de las antenas Isotrópica y Omnidireccional a partir de la realización de una serie de mediciones que nos permitan describir el comportamiento en dos diferentes perspectivas, una a partir de valores de índices de radiación electromagnética de la banda AWS para el canal de Downlink de la tecnología LTE, producida por la Antena de Cercanías ubicada en el barrio Bella Suiza, y la segunda una comparación en los patrones de radiación de cada una de las antenas originados por la caracterización de estas, para la realización de cada una de las mediciones se construirá metodologías para la correcta adquisición de los datos y tratamiento de estos, con el fin de obtener datos verídicos para el análisis que nos permitan demostrar gráficamente el comportamiento de las antenas para las mediciones realizadas.

Palabras clave: Isotrópica, Omnidireccional, Metodologías, Downlink, radiación

ABSTRACT

The Bosque University has a research and development group of Electromagnetism, Health and Quality of Life that is responsible for developing studies related to all perspectives of magnetic and different types of devices produce electromagnetic fields in our health and daily life, these variable magnetic fields, all of these commonly related to the area of telecommunications. The intention of the study to be performed is to determine and compare the behavior of the Isotropic and Omnidirectional antennas from the performance of a series of measurements that allow us to describe the behavior in two different perspectives, one from electromagnetic radiation index values of the AWS band for the Downlink channel of LTE technology, produced by the Cercanías Antenna located in the Bella Suiza neighborhood, and the second a comparison in the radiation patterns of each of the antennas originated by the characterization of these, for the realization of each of the measurements will be built methodologies for the correct acquisition of data and treatment of these, in order to obtain true data for analysis that allow us to graphically demonstrate the behavior of the antennas for the measurements made.

Keywords: Isotropic, Omnidirectional, methodologies, Downlink, radiation

Tabla de Contenidos

1	Introducción	12
2	Definición del problema	13
2.1	Contexto.....	13
2.2	Manifestación	14
2.3	Causas	14
2.4	Efectos	14
2.5	Aspectos a solucionar	15
2.6	Propuesta de solución.....	15
2.7	Justificación del proyecto	15
3	Objetivos:	16
3.1	General	16
3.2	Específicos.....	16
4	Requerimientos.....	16
4.1	Funcionales.....	17
4.2	De calidad.....	17
4.3	Restringidos	18
4.4	Por Objetivos	18
5	Desarrollo de actividades y entregables.....	19
5.2	Entregables del Objetivo Especifico 1:	32
5.3	Entregables del Objetivo Especifico 2	32
5.4	Entregables del Objetivo Especifico 3	33
6	Estado del arte	33
6.1	Bases Teóricas	33
6.2	Tecnologías.....	35
6.3	Tecnologías adquiridas por la Universidad El Bosque	37
6.4	Glosario de términos.....	40
7	Metodología.....	42
7.1	Metodología para la Caracterización del patrón de medición de las antenas Isotrópica y Omnidireccional	42
7.2	Metodología para la Antena de Cercanías.....	45
7.3	Metodología para la toma de datos	47
7.4	Metodología para el tratamiento de resultados	48
8	Desarrollo.....	49
8.1	Caracterización del patrón de medición de Antenas	49

8.2	Antena de Cercanías	55
9	resultados	60
10	Discusión.....	68
10.1	Caracterización de Antenas	68
10.2	Antena de Cercanías	69
11	conclusiones	69
12	Referencias Documentales	70
13	Anexos.....	71

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema del diseño 1	20
Figura 2 Esquema del diseño 2	21
Figura 3 Esquema del Subsistema A	23
Figura 4 Esquema del subsistema B	24
Figura 5 Esquema del subsistema C	25
Figura 6 Esquema del subsistema D	25
Figura 7 Esquema del subsistema E.....	26
Figura 8 Esquema del subsistema F.....	27
Figura 9 Requerimientos de subsistema A.....	28
Figura 10 Requerimientos de subsistema B	29
Figura 11 Requerimientos de subsistema C	31
Figura 12 R&S®FSH3 Spectrum Analyzer.....	36
Figura 13 Narda SMR 3006	37
Figura 14 Aaronia HF-6065E V4	37
Figura 15 Omnidirectional Antenna® OFA-S y OFA-SE.....	38
Figura 16 antena OmniLOG® 70600	38
Figura 17 DSG3000 RF Signal Generator	39
Figura 18 Anritsu MS2711E.....	40
Figura 19 Espacio en zona abierta sector " carpas "	50
Figura 20 Patrón horizontal de Antena omnidireccional 70600 generado por el fabricante Aaronia [14].....	55
Figura 21 Patrón horizontal de Antena Isotrópica generado por el fabricante	55
Figura 22 Mapa Antena de Cercanías hacia la Universidad El Bosque.....	56
Figura 23 Mapa antena de Cercanías, hacia la calle 127	57
Figura 24 ubicación antena de cercanías sentido Sur-norte.....	58
Figura 25 espacio de medición Antena de cercanías sur –norte.....	58
Figura 26 espacio a 200 metros sentido norte- sur de la antena de cercanías.....	58
<i>Figura 27 ubicación antena de cercanías sentido Norte-sur.....</i>	<i>59</i>
Figura 28 ubicación parque sentido Norte-sur hacia la calle 127.....	59
Figura 29 espacio ubicado en la Calle 127	60
Figura 30 Patrón de radiación antena omnidireccional 70600.....	62
Figura 31 Patrón de radiación antena omnidireccional 70600.....	62
Figura 32 Gráfica de valores medidos en unidades de V/m.	63
Figura 33 Gráfica de valores obteniendo su curva de desplazamiento	64
Figura 34 Grafica de valores obtenidos antena omnidireccional sentido norte- sur	67

Lista de Tablas

- Tabla 1 control de resultados..... 49
- Tabla 2 valores obtenidos en dBm antena isotr3pica 51
- Tabla 3 Valores obtenidos en V/m antena Isotr3pica..... 52
- Tabla 4 Valores obtenidos de la antena Omnidireccional 70600 en dBm..... 54
- Tabla 5 Valores obtenidos de la antena Omnidireccional 70600 en V/m..... 54
- Tabla 6 Resultados obtenidos antena omnidireccional sentido Norte- sur hacia la 127 .73
- Tabla 7 Resultados obtenidos antena omnidireccional sentido Sur-norte hacia la Universidad el Bosque 75
- Tabla 8 Mediciones sentido sur - norte hasta la calle 127 con antena isotropica 80
- Tabla 9 Mediciones sentido sur- norte hasta la Universidad el bosque con antena isotropica 83

1 INTRODUCCIÓN

La intención de este documento es construir y mostrar la información correspondiente a la metodología y desarrollo de mediciones de radiación electromagnética de la banda AWS, para la tecnología LTE Downlink, con el fin de dar a conocer los valores máximos obtenidos a partir de los puntos estratégicos donde se encuentra ubicada la Antena de Cercanía en el barrio Bella Suiza. Se tendrán en cuenta así los resultados con sus respectivos análisis para finalizar con un artículo de interés relacionado con las comparaciones dadas durante el proyecto.

En este trabajo se registran los capítulos de definición de problema el cual indica la problemática principal a lo cual nos lleva a realizar este proyecto, se emplearán trabajos relacionados con las mediciones de la antena de cercanías, mejorando las metodologías de desarrollo para las mediciones los puntos propuestos, el trabajo relacionado "estudio de la radiación electromagnética medida en el edificio fundadores de la universidad el bosque y de la curva de caída del downlink en tecnología 4G desde la radio base del barrio bella suiza hasta el campus de la universidad y desde la radio base hacia la calle 127".

De igual manera se encuentra el capítulo de estado del arte donde describe los trabajos realizados en la universidad El Bosque en torno al proyecto que se está desarrollando, también se incluye dentro de este capítulo las tecnologías utilizadas para realizar el proyecto. Finalmente, dentro de los capítulos siguientes se describe la metodología de medición, el desarrollo que se hizo en transcurso del semestre y finalmente se plantean los resultados y conclusiones de los valores que se llegaron a obtener.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

La Universidad El Bosque cuenta con varios grupos de investigación, uno de estos es el grupo de investigación Electromagnetismo Salud y Calidad de Vida, el cual desarrolla proyectos e investigaciones relacionadas con el efecto en la salud y la calidad de vida de los campos electromagnéticos generados por los sistemas de telecomunicaciones del país. Del objetivo del grupo de investigación nace la necesidad por conocer el comportamiento de la Antena de Cercanías, la cual se encuentra a 300 metros de la Universidad El Bosque sede Usaquén.

Actualmente se implementan normas técnicas las cuales indican que una antena base debe estar a cierta distancia de lugares como casas, colegios, hospitales entre otros, debido a esto se determinan parámetros y se verifica cuáles son los puntos donde se obtiene el mayor índice de radiación.

Existen documentos tanto nacionales como internacionales en la cual se impone un límite a la exposición en los campos electromagnéticos, debido a esto es que se hace un estudio para determinar qué tan expuestos están las personas con la antena de cercanías.

Para esta investigación se debe tener en cuenta documentación en la cual se han realizado medidas bajo los parámetros en Downlink AWS en la cual sirvan de referencia para implementar la metodología de medición impuesta bajo la norma irlandesa para obtener unos datos concisos para hacer la respectiva comparación. Esta comparación se hace entre dos antenas, una antena Isotrópica y una Omnidireccional esto con el fin de verificar sus propiedades y obtener mediciones con ambas antenas para poder describir con más veracidad el comportamiento de los índices de radiación en la Antena de Cercanías para las frecuencias de la banda AWS.

2.2 Manifestación

Las normativas referentes a los índices de radiación para la tecnología 4G establecen parámetros para valores de radiación respecto a las antenas de emisión o antenas radio base, como también el uso de las antenas Isotrópicas para la medición del espectro electromagnético, el grupo de investigación de la Universidad El Bosque de Electromagnetismo Salud y Calidad de Vida han realizado mediciones de espectros electromagnéticos con antenas de propiedades Omnidireccionales e Isotrópicas en varios proyectos, pero que tan confiables pueden ser estas mediciones, pueden las antenas introducir perturbaciones en los valores medidos a partir de sus características físicas y pueden estas poseer características que mejoren la toma de datos.

2.3 Causas

- 1) Descripción inconclusa del comportamiento de la radiación de la Antena de Cercanías.
- 2) Datos no discutidos partiendo de un experimentó funcional
- 3) Confiabilidad en la antena isotrópica, utilizada en la universidad del Bosque

2.4 Efectos

- 1) Una serie de mediciones que no se presentan discusiones a los cambios obtenidos
- 2) Mal uso de la antena isotrópica y la antena Omnidireccional

2.5 Aspectos a solucionar

Proponer y realizar la caracterización de las antenas basado en las dos antenas utilizadas para las mediciones, en este caso la antena isotrópica y la antena omnidireccional, se tomarán las características y comportamiento de la propagación de radiación de la antena base del barrio Bella Suiza en el cual generará un impacto positivo en el entorno de las telecomunicaciones y la corrección de problemas relacionados a esto.

2.6 Propuesta de solución

El grupo de investigación de la Universidad El Bosque de Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida tiene como meta obtener una serie de valores respecto a la Antena de Cercanías ubicada en el barrio Bella Suiza, utilizando una comparación para valores obtenidos de dos antenas, Isotrópica y Omnidireccional con el fin de describir el comportamiento de la Antena de Cercanías, como también obtener características de medición de las antenas para el rango de frecuencias de Downlink de la banda AWS de la tecnología 4G. igualmente se va a realizar un patrón de medición con la antena isotrópica y la antena omnidireccional a una con un rango de frecuencias de 2110 MHz a 2155 MHz y verificar sus respectivas propiedades que presentan.

2.7 Justificación del proyecto

Los integrantes del grupo de investigación de la Universidad El Bosque de Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida realizan una serie de mediciones la cual utilizan equipos como las antenas omnidireccionales y la antena isotrópica, es por esto que surge la necesidad de ver que propiedades presentan estas antenas en el momento de hacer las respectivas mediciones, verificar si en realidad está funcionando como lo indica el fabricante de cada antena, por esto se valida realizando un experimento con

cada antena y analizar los datos que se obtuvieron a partir del patrón de medición. Como complemento se valida los datos a través de una serie de mediciones de la antena de "cercanías" ubicado en el barrio Bella suiza.

3 OBJETIVOS:

3.1 General

Desarrollar un estudio de índices de radiación electromagnética de la banda AWS de la tecnología LTE a partir de la comparación de dos diferentes tipos de mediciones obtenidas de la Antena de Cercanías y la Caracterización del patrón de medición, con las antenas Isotrópica y Omnidireccional.

3.2 Específicos

1. Realizar la caracterización de un patrón de medición para las antenas Isotrópica y Omnidireccional
2. Realizar mediciones con las Antenas Isotrópica y Omnidireccional para la Antena de Cercanías.
3. Comparar, confrontar y analizar los datos obtenidos de la caracterización y la Antena de Cercanías.

4 REQUERIMIENTOS

1. El sistema realiza las metodologías de medición a partir de la Norma Irlandesa.
2. Las mediciones realizadas son obtenidas en las frecuencias de 1.810GHz - 2.155GHz correspondiente a la banda AWS para la tecnología LTE.

3. Las mediciones para la Antena de Cercanías deben tener los mismos puntos de medición para las dos antenas, tanto la antena Isotrópica como la antena Omnidireccional
4. Se comprobará los datos de la caracterización con los datos obtenidos con el fabricante de las antenas

4.1 Funcionales

1. Los rangos de las frecuencias de las mediciones serán entre 2110 MHZ-21550 MHZ
2. Se deberán realizar unas series de medidas para realizar una toma de datos en cuanto a la propagación de esta antena radio base.
3. Se deben realizar mediciones de la antena de Bella Suiza tanto el lado norte hacia la Universidad El Bosque y el lado sur hasta la 127
4. Se realizará un análisis de los datos obtenidos y se terminará lo teórico con lo práctico
5. Concluir los resultados finales para su perspectiva discusión acorde con el modelo implementado

4.2 De calidad

1. Las mediciones respecto a la Antena de Cercanías para las dos antenas tanto Isotrópica como Omnidireccional deben contar con las mismas características, equipos y métodos para la medición, horarios en el que se realiza la medición y ubicación GPS del punto de medición.
2. Dependiendo de la Antena utilizada se debe establecer un tiempo de medición diferente, respecto a las medidas de la Antena de Cercanías.
3. Los puntos identificados para la medición respecto a la Antena de Cercanías deben tener una distancia de 6 metros entre sí para las dos antenas.

4. Para la Caracterización del patrón de medición se debe utilizar un valor de frecuencia entre el rango de 2.110MHz - 2.155MHz.

4.3 Restrictivos

- 1) Documentos internacionales donde se exponen los modelos para la medición y propagación del campo eléctrico.
- 2) El sistema implementara el modelo para la medición después de haber realizado las respectivas pruebas.

4.4 Por Objetivos

- **Realizar la caracterización de la antena isotrópica y la antena omnidireccional**
 1. Para la caracterización se debe establecer una metodología para cada una de las antenas, tanto Isotrópica como Omnidireccional.
 2. Los resultados obtenidos deben ser descritos y consignados en un gráfico radial que nos permita observar el patrón horizontal de recepción de cada antena.
 3. Las gráficas de la caracterización por cada antena deben ser dos, una respecto a la unidad de potencia de la señal usada para la caracterización vs los grados y otra con valores de V/m vs los grados para cada medición.

Realizar mediciones con las Antenas Isotrópica y Omnidireccional para la Antena de Cercanías.

1. Se deben establecer e identificar los puntos para las dos orientaciones teniendo en cuenta la distancia entre cada punto.
 2. Para las dos antenas se debe seguir la metodología propuesta para la correcta toma de los datos.
 3. Se debe describir el comportamiento de los valores obtenidos de una manera gráfica, con el fin de comparar las mediciones de cada una de las antenas.
- **Comparar, confrontar y analizar los datos obtenidos de la caracterización y la Antena de Cercanías.**
 1. Los datos obtenidos de la Antena de cercanías se deben ordenar en tablas y gráficas dividiéndolas en las dos orientaciones para cada una de las antenas con el fin de analizar el comportamiento de obtenido para cada orientación.
 2. La comparación y análisis de los datos obtenidos se hará de manera gráfica, obteniendo una serie de diagramas de magnitudes para la Antena de Cercanías y diagramas radiales para la Caracterización del patron de medición de las antenas.

5 DESARROLLO DE ACTIVIDADES Y ENTREGABLES

5.1 Diseño Funcional

5.1.1. Diseño Funcional 1

Diseño 1

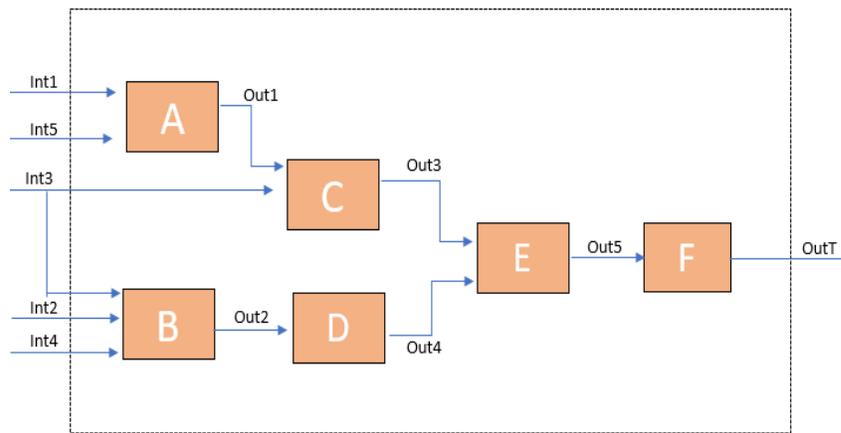


Figura 1 Esquema del diseño 1

a. Entradas

Int 1: Documentación, y análisis y metodologías de medición.

Int 2: Documentos referentes a estudios realizados y aplicados en la Universidad el Bosque

Int 3: Puntos identificados para las mediciones, con su respectiva ubicación satelital

Int 4: Radiación AWS downlink, medida en los puntos escogidos en campo eléctrico (dB μ V/m)

Int 5: Norma respecto a la medición de la red 4G en la banda AWS

b. Salidas

Out1: Caracterización de patrón de medición horizontal de la antena omnidireccional y la antena isotrópica, teniendo en cuenta variables y componentes climáticos por cada una de los patrones de recepción de radiación. Junto a la metodología de medición de las frecuencias de Downlink AWS.

Out 2: Valores medidos de campo eléctrico correspondiente a los índices de radiación, referente a la tecnología 4G banda AWS, Downlink (2110- 2155 MHz) para la antena de cercanías.

Out 3: Gráficas con los valores técnicos hallados para cada patrón de medición de radiación que exponen el comportamiento de las antenas bajo las frecuencias de Downlink.

Out 4: Gráficas con base en los valores obtenidos de las mediciones, la cual describe el comportamiento de la radiación emitida por la Antena de Cercanías del barrio Bella Suiza para la tecnología 4G banda AWS Downlink

Out 5: Comparación de las gráficas y valores, basados en los datos obtenidos teóricamente versus datos obtenidos a través de las mediciones.

Out_T: Documentación con análisis, discusión y comparación de los datos obtenidos en los puntos de medición de la antena de cercanías.

5.1.2. Diseño funcional 2

DISEÑO 2

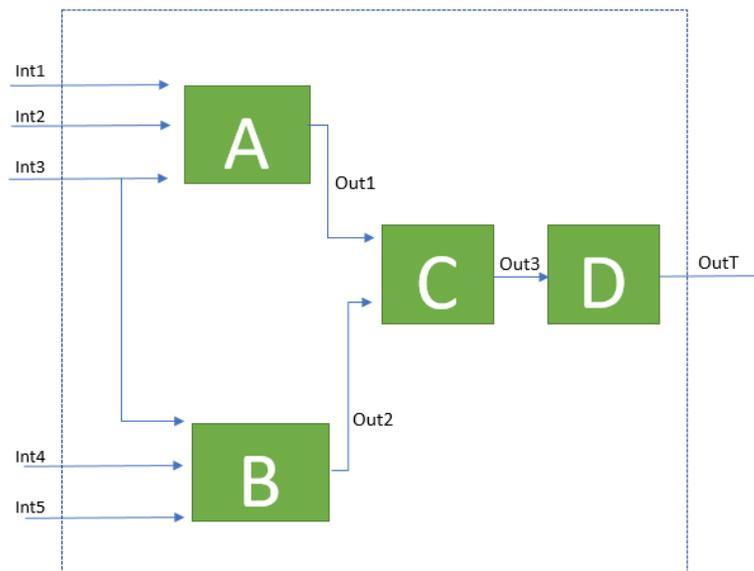


Figura 2 Esquema del diseño 2

a. Entradas

Int1: Documentación, caracterización y análisis de los datos obtenidos del patrón de radiación

Int2: Documentos referentes a estudios realizados y aplicados en la Universidad el Bosque.

Int3: Puntos identificados para las mediciones, con su respectiva ubicación satelital.

Int4: Radiación AWS downlink, medida en los puntos escogidos en campo eléctrico (dB μ V/m)

Int5: Norma respecto a la medición de la red 4G en la banda AWS.

b. Salidas

Out 1: Datos teóricos de cada caracterización en este caso antena isotrópica y antena omnidireccional.

Out 2: Datos prácticos de las mediciones realizadas en la antena de cercanías del barrio Bella suiza.

Out 3: Comparación de resultados por medio de graficas teóricas y practicas

Out_r: Documentación con análisis, discusión y comparación de los datos obtenidos en los puntos de medición de la antena de cercanías

5.1.3. Diseño Funcional Escogido

De los dos modelos que se plantearon se escogió el modelo A ya que tiene un orden donde se implementa una documentación base y una aplicación de los modelos que se van a aplicar para que el sistema funcione, de igual manera los subsistemas complementan los datos que se van a obtener ya que se va a realizar una comparación de lo práctico con lo teórico, este complemento se realizan mediante cálculos y gráficas obtenidas para que facilite la discusión de los datos medidos que se obtuvieron en la medición de la antena de cercanías.

A. Requerimientos de subsistema

i. Subsistema A:

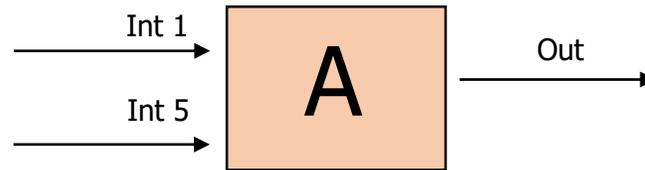


Figura 3 Esquema del Subsistema A

Entradas

Int 1: Documentación y caracterización de antenas

Int 5: Norma respecto a la medición de la red 4g

Salidas

Out 1: Caracterización del patrón de medición para la antena omnidireccional y la antena isotrópica, teniendo en cuenta variables y componentes climáticos por cada una de los patrones de radiación. Junto a la metodología de medición de las frecuencias de downlink aws.

Este sub sistema se encarga de analizar la documentación referente a las mediciones de la tecnología 4G específicamente para la banda AWS centrándonos en los parámetros y recomendaciones de la Norma irlandesa respecto a las frecuencias de Downlink (2110- 2155MHz), con la cual se desarrolla la metodología de medición la cual nos permite obtener valores dentro de un rango correcto. También se caracterizan el patrón de recepción de radiación para la antena omnidireccional y la antena isotrópica, donde se especifican las características de cada una de las caracterizaciones con sus valores obtenidos incluyendo factores importantes como tiempo de medición, sitio de medición, condiciones climáticas.

ii. Subsistema B

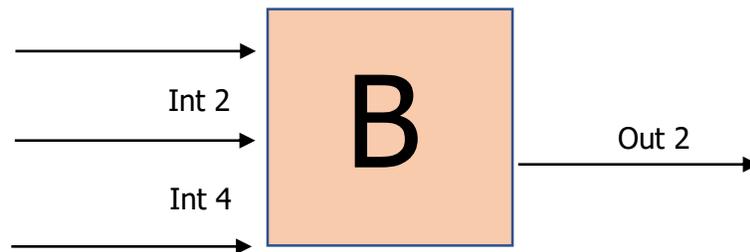


Figura 4 Esquema del subsistema B

Entradas

Int 3: Puntos identificados para las mediciones, con su respectiva ubicación satelital

Int 2: Documentos referentes a estudios realizados y aplicados en la Universidad el Bosque

Int 4: Radiación AWS downlink, medida en los puntos escogidos en campo eléctrico (v/m)

Salidas

Out2: Valores medidos de campo eléctrico correspondiente a los índices de radiación, referente a la tecnología 4G banda AWS, Downlink (2110- 2155 MHz) para la antena de cercanías.

Una vez creada la metodología del subsistema A el subsistema B recibirá los puntos donde se van a realizar las mediciones, en este caso se realizara la medición en la antena de cercanías de Barrio bella suiza, hacia el lado el sur hasta la calle 127 con una distancia de 6 metros por cada punto y hacia el lado norte con dirección a la Universidad El Bosque de igual manera con una distancia de 6 metros teniendo en cuenta que se deben referencial con su posición GPS, dado a esto tenemos en cuenta valores obtenidos a partir de varios estudios realizados en proyectos anteriores involucrando así la antena de cercanías, finalmente se va a recibir radiación AWS downlink por medio del analizador de espectro "Aaronia" y la antena isotrópica "Omnifield" teniendo en cuenta que se aplicara la metodología de medición y se convertirá estos valores obtenidos en voltaje y se obtendrá el valor máximo por cada medición.

iii. Subsistema C

Figura 5 Esquema del subsistema C

Entradas

Out 1: Caracterización de la antena omnidireccional y la antena isotrópica, teniendo en cuenta variables y componentes climáticos por cada una de los patrones de radiación. Junto a la metodología de medición de las frecuencias de downlink aws.

Int 3: Puntos identificados para las mediciones con su respectiva ubicación vía GPS.

Salidas

Out 3: Graficas con los valores teóricos hallados para cada una de las caracterizaciones de antenas que exponen el comportamiento de radiación para Downlink.

iv. Subsistema D

Figura 6 Esquema del subsistema D

Entradas

Out2: Valores medidos de campo eléctrico correspondiente a los índices de radiación, referente a la tecnología 4G banda AWS, Downlink (2110- 2155 MHz) para la antena de cercanías.

Salida

Out4: Graficas con base en los valores obtenidos de las mediciones, la cual describe el comportamiento de la radiación emitida por la antena de cercanías del barrio Bella Suiza para la tecnología 4G banda AWS Downlink

La metodología de este subsistema es recibir los valores obtenidos de la medición de banda aws en frecuencias de 2110 a 2155 para la tecnología downlink y una vez obtenidos se realizará su respectiva grafica de comportamiento para cada dato obtenido durante la medición introduciendo los valores que se obtuvieron en un libro de Excel en el cual describa el cambio de radiación en transcurso del tiempo medido.

v. Subsistema E



Figura 7 Esquema del subsistema E

Entradas

Out3: Graficas con los valores teóricos hallados para cada caracterización de antenas hechas la cual que exponen el comportamiento de radiación para Downlink.

Out4- sub-E: Gráficas con base en los valores obtenidos de las mediciones, la cual describe el comportamiento de la radiación emitida por la Antena de Cercanías del barrio Bella Suiza para la tecnología 4G banda AWS Downlink.

Salidas

Out5: Comparación de las gráficas y valores, basados en los datos obtenidos teóricamente versus datos obtenidos a través de las mediciones.

vi. Subsistema F



Figura 8 Esquema del subsistema F

Entrada

Out5: Comparación de las gráficas y valores, basados en los datos obtenidos teóricamente versus datos obtenidos a través de las mediciones.

Salida

Out_T: Documentación con análisis, discusión y comparación de los datos obtenidos en los puntos de medición de la antena de cercanías.

Finalmente, al subsistema F le entraran unas comparaciones con los datos obtenidos tanto teóricos como los datos que se obtuvieron a través de las mediciones, la cual tendrá como resultado un documento con el análisis de los datos, una comparación y una discusión de los valores obtenidos durante la medición.

B. Requerimientos de componentes

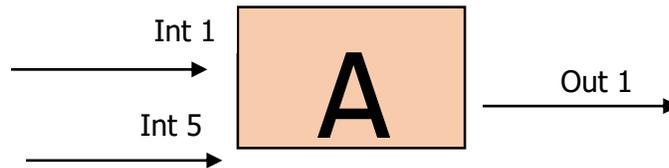
i. Subsistema A:

Figura 9 Requerimientos de subsistema A

Entradas

Int 1: Documentación y Caracterización de patrón medición de las antenas

Int 5: Norma respecto a la medición de la red 4g

Salidas

Out 1: Caracterización del patrón de medición de la antena omnidireccional y la antena isotrópica, teniendo en cuenta variables y componentes climáticos por cada una de los patrones de radiación. Junto a la metodología de medición de las frecuencias de downlink aws.

Componentes Subsistema A

Documentación de la metodología para la caracterización del patrón de medición de antenas y norma irlandesa

Componentes: Se escoge la Normal irlandesa como guía para la metodología de medición, con la cual se espera parámetros que nos ayuden a obtener unos valores óptimos para el análisis de los mismos.

ii. Subsistema B

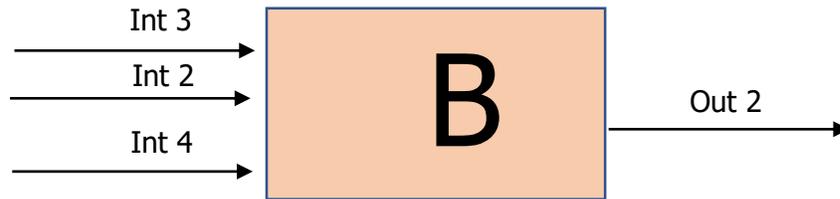


Figura 10 Requerimientos de subsistema B

Entradas

Int 3: Puntos identificados para las mediciones, con su respectiva ubicación satelital

Int 2: Documentos referentes a estudios realizados y aplicados en la Universidad el Bosque

Int 4: Radiación AWS downlink, medida en los puntos escogidos en campo eléctrico (v/m)

Salidas

Out2: Valores medidos de campo eléctrico correspondiente a los índices de radiación, referente a la tecnología 4G banda AWS, Downlink (2110- 2155 MHz) para la antena de cercanías.

Componentes

Aaronia Hf-60654 v4 y Antena Omnifield

En este subsistema se implementarán tecnologías para la toma adecuada de los datos se usará la Aaronia HF-6065 y la antena Omnifield, teniendo en cuenta que se obtendrán los valores más altos de radiación que se están presentando en determinados puntos.

La Aaronia HF-6065 V4 se integró ya que este medidor de campo eléctrico es portable y su facilidad de manejo es más accesible por su peso y dimensiones, en cuanto a la antena Omnifield se implementa ya que al momento de usarla es independiente a la posición que se ubique ya que tiene la capacidad de medir en los 3 ejes y entregar un sumatorio total con su valor máximo del punto medido.

Características técnicas de los componentes

Aaronia Hf-60654

- Rango de frecuencia de RF: 10MHz a 6GHz
- DANL: -135dBm (1Hz)
- Max. potencia en la entrada de RF: + 10dBm
- Tiempo de muestreo más bajo: 10 mS
- Resolución (RBW): 3kHz a 50MHz
- Unidades: dBm, dBμV, V / m, A / m, W / m² (dBμV / m, W / cm², etc. mediante software para PC)
- Detectores: RMS, Min / Max
- Demodulador: AM, FM
- Entrada: 50 Ohm SMA RF-input (f)
- Precisión: +/- 2dB (típico)
- Interfaz: USB 2.0 / 1.1
- Preamplificador de bajo ruido incluido
- Dimensiones (L / W / D): 250x86x27 mm
- Peso: 430gr
- Garantía: 10 años
- Cálculo y visualización del límite de exposición a RF según DIN / VDE 0848
- Tiempo de muestreo hasta 100 veces más rápido que las unidades V3
- Hasta 60dB de mayor sensibilidad que las unidades V3
- 14Bit Dual-ADC
- Filtro de hardware DDC
- 150 MIPS DSP (CPU)
- Registrador de datos (64K), ampliable a 1MB (Opción 001)
- Pantalla LCD mejorada y mucho más nítida (en comparación con las unidades V3)
- Muestra simultáneamente la frecuencia y la intensidad de la señal
- Control remoto en tiempo real a través de USB
- Pantalla LCD grande y multifunción de alta resolución
- Medición del vector (I / Q)

- Analizador DECT & Time Slot
- Detector de potencia máxima de RF en tiempo real (opción)
- Mantener la función
- Antena direccional EMC incluida HyperLOG 7060

Antena Omnidireccional

- Amplio rango dinámico de campo: 1 mV / m - 30 V / m @ 30-3000 MHz.
- Nivel de ruido ~ 0.3 mV / m @ 1 GHz @ BW 1 KHz.
- Amplio rango de frecuencia: 30 MHz - 3 GHz.
- Directividad de la sonda: omnidireccional.
- Exactitud de calibración: ± 1 dB.
- Desviación de linealidad definida por SA.
- Típicamente, mejor que ± 0.5 dB.
- Isotropicidad rotacional (típ.): $\pm (1.5-3)$ dB.
- Recomendado SA BW: 30 KHz (min BW 1 KHz)
- Cable especial de alta pérdida de 1,5 m (5 pies) de baja pérdida (suministrado con la unidad).

iii. Subsistema C



Figura 11 Requerimientos de subsistema C

Entradas

Out 1: Caracterización de la antena omnidireccional y la antena isotrópica, teniendo en cuenta variables y componentes climáticos por cada una de los patrones de radiación. Junto a la metodología de medición de las frecuencias de downlink aws.

Int 3: Puntos identificados para las mediciones con su respectiva ubicación vía GPS.

Salidas

Out 3: Graficas con los valores teóricos hallados para cada una de las caracterizaciones propuestas que exponen el comportamiento de radiación para Downlink.

5.2 Entregables del Objetivo Especifico 1:

Realizar la caracterización del patrón de medición de las antenas Isotrópica y Omnidireccional

Entregables

- Metodología de la Caracterización del patrón de medición y disposición de equipos para cada una de las antenas.
- Tabla de datos de potencia y de V/m para cada una de las antenas.
- Gráficas radiales de potencia vs Grados de rotación y de V/m vs grados de rotación para cada una de las antenas.

Actividades Modificadas:

El experimento se realiza a partir de varias metodologías modificadas en el cual cambia los entornos de medición y los tiempos de medición para cada antena.

5.3 Entregables del Objetivo Especifico 2

Realizar mediciones con las Antenas Isotrópica y Omnidireccional para la Antena de Cercanías.

Entregables

- Metodología de medición para cada una de las antenas
- Metodología para el tratamiento de los datos obtenidos.
- Puntos identificados para cada una de las orientaciones propuestas
- Tablas con los valores de los índices de radiación emitida por la Antena de Cercanías en cada uno de los puntos identificados para la medición para cada una de las antenas en las orientaciones propuestas.
- Gráficas de las magnitudes halladas para cada uno de los puntos en las dos orientaciones para cada una de las antenas.

Actividades Modificadas:

Se realiza la medición con la antena omnidireccional en el mismo horario de la medición de antena isotrópica para comparar y discutir los valores obtenidos.

5.4 Entregables del Objetivo Especifico 3

Comparar, confrontar y analizar los datos obtenidos de la caracterización y la Antena de Cercanías.

Entregables

- Gráficas de la Caracterización del patrón de medición y mediciones de Antena de Cercanías.
- Discusión de los resultados obtenidos, comparación de las gráficas de la Caracterización con las obtenidas para la Antena de Cercanías.

6 ESTADO DEL ARTE

6.1 Bases Teóricas

En la Universidad El Bosque se han desarrollado proyectos en la cual involucra metodologías para medir los puntos de interés por medio de Downlink, desarrollando así informes en la cual demuestra los datos obtenidos durante el transcurso de los proyectos realizados , no obstante se quiere llegar a determinar cuáles son aquellos puntos de interés en la cual hay un índice de radiación por medio de la banda AWS LTE, en la cual se demuestre cuáles son los horarios en la cual se incrementa este valor, para determinar estos resultados se tendrá en cuenta los horarios y en los días que se realicen las mediciones para determinar si se presente un cambio en los resultados.

Estructura de una señal LTE

Tramas de señal LTE:

1. **FDD (Frecuency División Duplwxin):** Esta se caracteriza por su trama de 10 ms se divide en 10 sub tramas cada una de 1ms, cada sub trama se divide a su vez en dos ranuras cada una de 0,5ms cada ranura cuenta con un número de símbolos posibles los cuales dependen del CP (Prefijo Cíclico), 7 símbolos para CP normal y 6 símbolos para CP extendido. [1]
2. **TDD (Time División Duplwxin):** se caracteriza por su trama, está formada por dos cuadros de 5 ms cada uno, que se subdividen en cinco sub tramas de 1 ms cada una. Cada sub trama a su vez consta de dos ranuras de 0,5 ms, excepto las sub tramas 1 y 6 que llevan tres campos de información del conmutador: intervalo de tiempo del piloto de enlace descendente (DwPTS), período de protección (GP) e intervalo de tiempo del piloto de enlace ascendente (UpPTS).[1]
3. **CP (Prefijo Cíclico):** El CP normal está diseñado para su uso en celdas urbanas más pequeñas con altas velocidades de datos, mientras que el CP extendido está diseñado para celdas más grandes (por ejemplo, rurales) que requieren una mayor dispersión de retardo. [1]

4. **UIT-TK61** Esta recomendación ayuda a los operadores de telecomunicaciones a verificar el cumplimiento de las normas de exposición de las personas establecidas por las autoridades locales o nacionales, proporciona orientaciones sobre los métodos de medición que pueden utilizarse para realizar una evaluación de dicho cumplimiento, también proporciona directrices sobre la selección de métodos numéricos adecuados para predecir la exposición de las personas en varias situaciones y directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas.[1]

6.2 Tecnologías

- I. **Rohde & Schwarz FSH 3/6/18:** El FSH (3/6/18) es el analizador de espectro ideal para investigaciones de señales rápidas, de alta precisión y rentables. Proporciona una gran cantidad de mediciones funciones y por lo tanto puede manejar cualquier cosa de la instalación o el mantenimiento de una radio móvil estación base, así como desarrollo y servicio una amplia gama de aplicaciones.[2]

El FSH se puede utilizar para mediciones hasta un límite de frecuencia superior de 3 GHz, 6 GHz y 18 GHz. Los 3 GHz y 6 GHz están disponibles con o sin generador de seguimiento interno. Cuando el seguimiento generador incluido, el FSH se puede usar para mediciones de distancia a falla (DTF), escalar y análisis de red vectorial y medición de pérdida de cable de un puerto. Casi todos los modelos vienen de serie con un preamplificador ajustable, lo que los hace adecuados para medir señales muy pequeñas. Sensores de potencia están disponibles como accesorios para mediciones de potencia de terminación de alta precisión de hasta 8 GHz o 18 GHz, así como para mediciones de potencia direccional de hasta 4 GHz. [3]



Figura 12 R&S®FSH3 Spectrum Analyzer

- II. Narda SMR 3006:** posee Medida selectiva de campos electromagnéticos de alta frecuencia Sistema de prueba completo, fácil de usar, que consta de una unidad base y antenas de medición, para la detección no direccional de campos y sus fuentes en el rango de frecuencia de 9 kHz a 6 GHz. Mediciones conforme a ICNIRP y estándares nacionales con resultados mostrados directamente en términos del valor límite permitido Resultados rápidos y confiables utilizando rutinas de medición predefinidas, configuraciones y configuraciones automáticas.

Modos de funcionamiento LTE - FDD / TDD y UMTS para evaluar la información de la señal piloto y la extrapolación a niveles de exposición máximos Modo de alcance para análisis a corto plazo de señales pulsadas y registro a largo plazo de niveles de exposición variables. Adecuado para uso en exteriores: protegido contra la radiación, robusto, a prueba de salpicaduras, diseño ergonómico; usa baterías recargables intercambiables; equipado con GPS integrado y grabadora de voz. [4]



Figura 13 Narda SMR 3006

6.3 Tecnologías adquiridas por la Universidad El Bosque

Analizador de espectro de bajo costo "AARONIA HF 6065E": Este analizador de espectro HF-6065E V4, este dispositivo profesional para detectar radiación de alta frecuencia, así mismo para analizar el rango de frecuencias de 10MHz y 6 GHz, Permite detectar fuentes de interferencia, descubrir más sobre sus causas, determinar la frecuencia e intensidad de las fuentes de señal [5]



Figura 14 Aaronia HF-6065E V4

Antena Isotrópica: consta de cabezal de antena con mango y unidad de potencia extraíble **PU-5S**. El cabezal de la antena tiene 3 antenas posicionadas una con respecto a la otra. Las señales de cada antena se combinan para permitir que la señal de salida sea proporcional al valor absoluto del campo independientemente de la dirección del campo. La unidad de poder contiene etapa de ganancia, batería recargable y conectores para la antena y el cable de salida.



Figura 15 Omnidirectional Antenna® OFA-S y OFA-SE

Antena Omnidireccional 7600: La antena OmniLOG® 70600 está especialmente desarrollada como una antena omnidireccional de banda ancha pequeña y compacta. A pesar de su pequeño tamaño, cubre un rango de frecuencia extremadamente amplio de 680 MHz a 6 GHz. Dentro de las bandas de frecuencia más importantes, la antena alcanza una ganancia muy alta de hasta 6.5dBi. Se ajusta perfectamente a los analizadores de espectro de mano SPECTRAN, pero también puede usarse con cualquier otra marca de analizador de espectro.[6]



Figura 16 antena OmniLOG® 70600

DSG 3000 RF generador: La serie DSG3000 ofrece modulación analógica estándar AM / FM / ØM, así como opciones para la modulación I / Q y la salida de banda base I / Q. El DSG3060 tiene una frecuencia máxima de 6 GHz. Con una alta pureza de señal con ruido de fase que mide $<-110\text{dBc} / \text{Hz}$ a 20kHz (típico) y un amplio rango de salida de -130dBm a $+25\text{dBm}$, el generador de señales de RF DSG3000 tiene una modulación de pulso estándar con una relación de encendido / apagado de hasta 80dB, con generador opcional de tren de impulsos disponible. La serie DSG3000 también tiene una precisión de amplitud de $<0.5\text{dB}$ (típico).[7]



Figura 17 DSG3000 RF Signal Generator

Anritsu MS2711E: Los analizadores de espectro MS2711E Spectrum Master de Anritsu proporcionan a los usuarios un alto rendimiento para entornos de campo y para aplicaciones que requieren movilidad. No hay otro analizador de espectro en esta clase que pueda ofrecer el mismo rendimiento. La combinación de su rendimiento y diseño compacto lo hace ideal para una amplia gama de actividades, incluyendo espectro monitoreo, análisis de interferencia, mediciones de intensidad de campo, análisis de espectro del transmisor, intensidad de campo electromagnético, y análisis general de campo.[8]



Figura 18 Anritsu MS2711E

Aaronia Spectrum Analyzer Software MCS: funciona con cualquier sistema operativo como MAC OS, Linux y Windows, Control remoto en tiempo real con cualquier analizador de espectros Spectrum, Admite un número ilimitado de pantallas de límites de pre conformidad como EN55011, EN55022, etc. incl. varias curvas límite y pantallas de barras separadas, Soporte de ventanas múltiples, Potente Deshacer-Característica Pantalla de canal y proveedor [9]

6.4 Glosario de términos

Radiación electromagnética:

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación

electromagnética se puede propagar en el vacío.
[10]

LTE:

Es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de dato.[11]

Downlink:

Enlace o conexión de bajada es el término utilizado para representar el enlace entre un satélite y la Tierra. [12]

AWS:

Es una banda de espectro de telecomunicaciones inalámbricas utilizada para servicios de voz y datos móviles, video y mensajería. AWS se utiliza en la mayor parte de Latinoamérica, utiliza frecuencias de microondas en dos segmentos: de 1710 a 1755 MHz para el enlace ascendente, y de 2110 a 2155 MHz para el enlace descendente. [13]

Mediciones omnidireccionales:

son aquellas medidas en la cual se logra obtener radiación en todas direcciones. Teniendo en cuenta que se realiza con el eje x, y, z y se saca el promedio total

Mediciones isotrópicas: son mediciones que se logra tener los valores de radiación en un solo valor ya que esta obtiene en todas las direcciones

7 METODOLOGIA

7.1 Metodología para la Caracterización del patrón de medición de las antenas Isotrópica y Omnidireccional

a. Metodología de medición y Configuración de equipos

Para la metodología de medición se tuvieron en cuenta varias recomendaciones como la ICNIRP de 1998, La norma nacional de Irlanda de la comisión de regulación de telecomunicaciones de Irlanda y trabajos similares realizados por el grupo de investigación de Electromagnetismo Salud y Calidad de Vida de la Universidad El Bosque.

- Se usa una fuente constante de radiación electromagnética a una frecuencia de 2110 MHz para la caracterización, con el fin de comparar las medidas realizadas para la banda AWS de LTE de la Antena de Cercanías.
- La antena de emisión de la señal electromagnética debe ser la misma
- La altura de los equipos, debe ser igual para la fuente de radiación como para las antenas a caracterizar.
- La distancia entre la fuente de radiación y las antenas a caracterizar debe ser la misma, en este caso se recomienda una distancia entre los 3.5m y 4.5m.
- Se debe tener en cuenta las metodologías de medición para el analizador de espectro usado para la recepción de la señal.
- Se debe encontrar la manera de asegurar el valor exacto de las rotaciones para cada antena a caracterizar.

- El tiempo de las mediciones debe estar entre el rango de 1 min a 30 seg para estabilizar el valor obtenido.
- Se debe garantizar la correcta recepción de la señal de 2110 MHz para cada una de las antenas a caracterizar.
- Se debe escoger un espacio con óptimo para la caracterización.

b. Metodología Antena Isotrópica

- La fuente de radiación debe tener una antena con propiedades directivas, en este caso se usa una antena Yagui.
- La señal para la caracterización es de 2.11GHz
- La recepción de la señal se debe hacer con la antena Isotrópica
- Para esta antena se hace una rotación en el rango de los 15° a 30° teniendo de 24 a 12 mediciones.
- La representación gráfica de los valores obtenidos debe ser un patrón radial

c. Metodología Antena omnidireccional

- La fuente de radiación debe tener una antena con propiedades directivas, en este caso se usa una antena Yagui.
- La señal para la caracterización es de 2.11GHz
- La recepción de la señal se debe hacer con la antena OmniLOG 70600
- Para esta antena se hace dos tipos de rotación en el rango de los 15° a 30° teniendo de 24 a 12 mediciones por cada rotación.
- La primera rotación debe ser sobre su propio eje.
- La segunda rotación debe hacerse con la antena posicionada de forma horizontal.
- La representación gráfica de los valores obtenidos debe ser un patrón radial

d. Equipos

El grupo de investigación de Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida cuenta con un conjunto de equipos transportables, tanto como hardware y software, estos equipos son los siguientes:

- Un analizador de espectro HF-6065 Aaronia Spectran Analyzer.
- Un computador portátil con el software MCS Real-time Spectrum Analyzer para la adquisición y análisis de datos.
- Antena omnidireccional OmniLOG 70600
- Antena Isotrópica
- Un trípode para ubicar la antena y el analizador de espectro.
- Extensiones de corriente.
- Antena Directiva Yagui
- Anritsu
- Generador de radiación

e. Configuración de equipos

- 1) Generador de radiación o fuente de radiación
- 2) Antena direccional Yagui
- 3) Aaronia hf 6655
- 4) Trípode para la ubicación del Aaronia
- 5) Antena isotrópica 30800
- 6) Aaronia hf 6655
- 7) Conexión Aaronia 1 a corriente
- 8) Conexión Aaronia 2 a corriente
- 9) Anritsu monitoreo y control de la señal

f. Tratamiento de datos de la Caracterización

•Campo eléctrico E

Unidades: Decibelios / metro (dB μ V/m)

En el caso que el analizador no mida campo se utilizará la ecuación:

$$E = Pr - G + 20\log(f) - 77.2$$

E: campo eléctrico equivalente en dBuV/m.
Pr: potencia medida por el analizador en dBm.
G: ganancia de la antena en dBi.
F: frecuencia en MHz.

Si se conoce el factor de antena Ka

$$E = Pr + 107 + 20\log(Ka)$$

E: campo eléctrico en dBuV/m
Pr: potencia medida en dBm
Ka: factor de antena (dependiente de la frecuencia)

El campo se deberá convertir posteriormente de dBuV/m a V/m o mV/m.

7.2 Metodología para la Antena de Cercanías

- 1) La metodología de medición para la banda AWS canal Downlink se construye a partir de la Norma irlandesa, donde se estipulan ciertas características que deben cumplir los equipos.
- 2) Para las mediciones se usa un analizador de espectro, equipo de referencia Aaronia HF 6065V4.
- 3) Se usa una antena Isotrópica conectada al Aaronia.
- 4) Para realizar el correcto montaje de los equipos se debe tener un trípode para el Aaronia.

- 5) Con el Aaronia correctamente conectado a la antena se dispone a colocarlo sobre el trípode, el objetivo de esto es que el equipo se encuentre a una distancia de 1.5m del suelo o superficie.
- 6) Cuando el equipo se encuentra con la posición correcta se procede a tomar las coordenadas GPS para el punto de medición.
- 7) Para iniciar las mediciones se debe configurar los siguientes parámetros de los equipos.
- 8) Frecuencias de medición, Banda AWS downlink
 - Frecuencia baja: 2100 MHz
 - Frecuencia central: 2135 MHz
 - Frecuencia alta: 2155 MHz
- 9) Filtros de medición
 - RBW: 1 MHz
 - VBW: 3 MHz
- 10) Tiempo de muestreo y configuración del Display.
 - Sw Time: 100 ms
 - Display: Se debe tener en la opción Write
- 11) Unidades y Valores
 - Units: dB μ V/m
 - Detect: Valores RMS
- 12) Es importante antes de empezar la medición que el equipo se encuentre previamente configurado con los parámetros anteriores, luego de la configuración anterior se debe asegurar que en el display se encuentren en MAXHOLD.

- 13) Las mediciones deben tener un tiempo máximo de duración de 2 minutos.
- 14) Se debe tener en cuenta las características de las antenas, puesto que a partir de esta las mediciones y la posición del equipo va a variar.
- 15) Cada medición debe ser registrada en la plantilla de medición, donde se pondrán las características del espacio donde se realiza la medición, la hora, la fecha, y el valor obtenido de cada una de las mediciones.

7.3 Metodología para la toma de datos

Factor de corrección de antena

$$E_{max} = E_{MMCH} \times \sqrt{n_{trx}} \quad (1)$$

$$E_{max} = 1 \times \sqrt{45} \quad (2)$$

Entonces

$n_{trx} = BW$ de la banda aws "dowlink" la cual es 45

$E_{MMCH} =$ frecuencia de RBW de la aaronia la cual es 1

FORMULA PARA LA CONVERSION

$$dB = 20\log(x) \quad (3)$$

$$\frac{dB}{20} = \log(x) \quad (4)$$

$$10^{\frac{dB}{20}} = X \quad (5)$$

$$10^{\frac{dB+60+E_{max}}{20}} * (10^{-6}) = X \quad (6)$$

El factor de corrección de antena se realizó sacando la formula (1) de la Norma Irlandesa del cuadro de la página 31, el cual se realiza también la extracción de datos para la corrección de RBW, debido a que este valor debe ser el valor de BW correspondiente a la banda 4 downlink, por lo cual se asigna un valor máximo que es 1 MHz para que la Aaronia acepte este valor.

La fórmula (6) se desarrolla para convertir el nivel de radiación de dBμV/m a V/m

7.4 Metodología para el tratamiento de resultados

Una vez realizadas las mediciones durante los 6 minutos determinados por la norma irlandesa se toman los datos obtenidos que fueron generados, para luego realizar una comparación de su punto máximo, su punto mínimo, una vez ya obtenidos los resultados por cada medición, se agregara un comentario al archivo detallando la hora y el lugar en la cual se realizó la toma de datos.

Los datos obtenidos deben consignarse en un archivo dentro de la carpeta donde se guarda la toma de resultados de la siguiente forma:

1. Escribir el día y la hora que se realiza la medición
2. Referenciar el lugar acompañado de la posición GPS
3. Describir algunas características especiales como estado del clima en los puntos referenciados
4. Describir si se está presentando algún evento u otra característica
5. El archivo obtenido se importa con el software MCS spectrum analyzer, para luego guardarlo en formato CSV, el cual le permite al programa de Microsoft Excel mostrar todos los datos obtenidos de la medición realizada durante los 6 minutos.

Para demostrar estos datos se van a tener en cuenta el máximo valor encontrado y el mínimo valor encontrado por cada medición realizada en cada punto acordado con sus respectivas características.

punto	nivel de radiacion (dB μ V/m)	coordenadas GPS		Valor de medicion V/m
		Latitud	longitud	

Tabla 1 control de resultados

8 DESARROLLO

8.1 Caracterización del patrón de medición de Antenas

a. Espacio para la Caracterización



Figura 19 Espacio en zona abierta sector " carpas "

El espacio para el desarrollo de la Caracterización es un espacio lo más abierto posible para evitar la refracción de la señal emitida por nuestra fuente de radiación, por esto se desarrolla en la zona frente al bloque F de la Universidad El Bosque como se muestra en la figura 19, esta zona asegura las dimensiones para la disposición de los equipos de la caracterización

b. Antenas Isotrópica

La realización de la Caracterización del patrón de medición de la antena Isotrópica está compuesta de dos factores importantes, el primero son los valores numéricos obtenidos de las mediciones de la caracterización, y por otro lado está el resultado grafico radial de los datos ya tratados consignados en el capítulo de Resultados en la sección 10.1.

Las gráficas radiales obtenidas para esta antena son resultado de unas mediciones realizadas en el semestre 2018-2, se tomaron estas medidas para el análisis ya que estas cumplían con ciertos parámetros como: la metodología de medición, la disposición de los equipos, la antena de emisión del fuente de radiación era la antena Yagi y coincidía con los horarios de las mediciones de la caracterización realizadas el semestre 2019-1, la consideración de estas mediciones se debe a problemas presentados para esta antena durante el semestre 2019-1, estos problemas se presentan en una serie de pruebas previas realizadas durante todo el semestre.

La serie de pruebas realizadas consta de 3 tipos de recepción para la antena Isotrópica, todas teniendo en cuenta la potencia de una señal emitida de 2,11GHz para las tres

pruebas, la primera prueba para esta antena consiste en mediciones con el Aaronia HF 6065 el cual hace la recepción valores menores de la potencia emitida por la fuente de la señal evidenciando un problema en la recepción de la antena. Partiendo del problema encontrado, se procede a realizar otras pruebas de recepción el día que se realizó la caracterización del patrón de medición de la antena Omnidireccional, estas dos pruebas son realizadas con un equipo más especializado con el fin de poder asegurar firmemente un dictamen del funcionamiento según los resultados de esta. Se utiliza el Anritsu, en primera instancia se deja el Anritsu sin conexión de la antena Isotrópica y se visualiza la potencia obtenida de nuestra señal de la fuente de radiación, luego se procede a conectar la antena sin su excitador directamente al Anritsu para ver si hay una variación significativa en la potencia recibida a partir de la ganancia de la antena, como no se evidencia cambio en la potencia de la señal se procede a la realización de la segunda prueba conectando el excitador de la antena para ver si con la polarización y la excitación que produce este sobre la antena se puede ver un cambio en la potencia recibida debido a la ganancia de la antena, de la cual obtuvimos el mismo problema de recepción de la Antena.

Isotrópica	
Grados °	dBm
360°	-105,1
330°	-104,62
300°	-102,62
270°	-104,42
240°	-104,29
210°	-103,965
180°	-104,33
150°	-104,3
120°	-104,35
90°	-105,6
60°	-104,618
30°	-104,616

Tabla 2 valores obtenidos en dBm antena isotrópica

Isotrópica	
Grados °	V/m
360°	1,13E-08
330°	1,22E-08
300°	1,22E-08
270°	1,21E-08
240°	1,20E-08
210°	1,36E-08
180°	1,22E-08
150°	1,21E-08
120°	1,21E-08
90°	1,14E-08
60°	1,21E-08
30°	1,21E-08

Tabla 3 Valores obtenidos en V/m antena Isotrópica

c. Antenas Omnidireccional

La realización de la Caracterización del patrón de medición de la antena Omnidireccional está constituida por dos factores importantes los datos obtenidos de las mediciones, y por otro lado el resultado grafico radial obtenido del tratamiento de los valores de las mediciones consignado en la sección 10.1 del capítulo de Resultados

Estas gráficas son producidas a partir de valores medidos en la caracterización realizada el semestre de 2019-1, para esta antena se realiza una prueba de recepción de la señal emitida por nuestra fuente de radiación a una frecuencia de 2.11GHz, teniendo en cuenta la potencia de la señal como factor de análisis, se procede a hacer una medición con el Anritsu sin conexión de la antena Omnidireccional de la señal emitida por la fuente de radiación, luego se hace la misma medición pero esta vez conectando la antena Omnidireccional al Anritzu y se observa si hay un cambio en la potencia obtenida

con respecto a la anterior medición, con el cambio de la potencia en las dos mediciones establecemos la correcta recepción de la señal por parte de la antena Omnidireccional.

Los valores obtenidos en la caracterización de esta antena son una combinación lineal de las magnitudes obtenidas para 2 tipos de rotación diferente. La primera serie de valores medidos se obtiene a partir de una rotación de 15° sobre su propio eje, da un total de 24 valores, la segunda serie de 24 valores se obtiene a partir de una rotación 15° de la antena de manera horizontal. La gráfica del patrón de radiación horizontal se hace con la combinación de los valores obtenidos en estas 2 rotaciones, la combinación lineal de los valores obtenidos da un promedio de la potencia para cada uno de los ángulos, se procede a graficar de manera radial la magnitud del promedio de potencia de cada ángulo dando como resultado la gráfica del patrón de radiación.

OmniLOG 70600	
Grados °	dBm
360°	-99,55
345°	-100,5
330°	-97
315°	-96,25
300°	-95,8
285°	-98,85
270°	-96,45
255°	-98,26
240°	-98,1
225°	-98,63
210°	-100,45
195°	-98,6
180°	-97,7
165°	-97,7
150°	-95,5
135°	-96,12
120°	-96,95
105°	-99,75
90°	-97.65
75°	-98.9
60°	-97,36

45°	-99,15
30°	-97,35
15°	-99,85

Tabla 4 Valores obtenidos de la antena Omnidireccional 70600 en dBm

OmniLOG 70600	
Grados °	V/m
360°	1,15E-08
345°	2,31E-08
330°	2,94E-08
315°	2,48E-08
300°	2,53E-08
285°	2,63E-08
270°	1,79E-08
255°	2,23E-08
240°	3,87E-08
225°	3,25E-08
210°	3,73E-08
195°	2,83E-08
180°	2,82E-08
165°	2,56E-08
150°	1,90E-08
135°	2,54E-08
120°	2,81E-08
105°	2,80E-08
90°	3,30E-08
75°	3,12E-08
60°	3,52E-08
45°	3,81E-08
30°	3,08E-08
15°	1,82E-08

Tabla 5 Valores obtenidos de la antena Omnidireccional 70600 en V/m

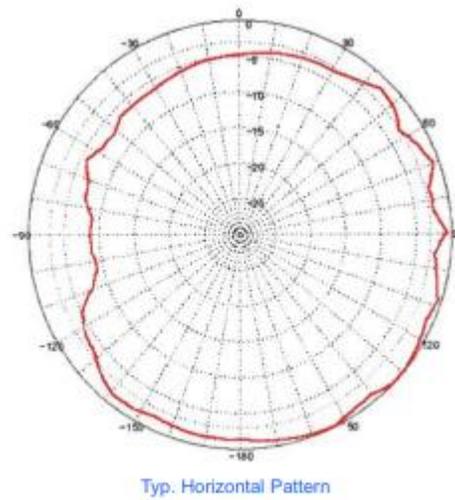


Figura 20 Patrón horizontal de Antena omnidireccional 70600 generado por el fabricante Aaronia [14]

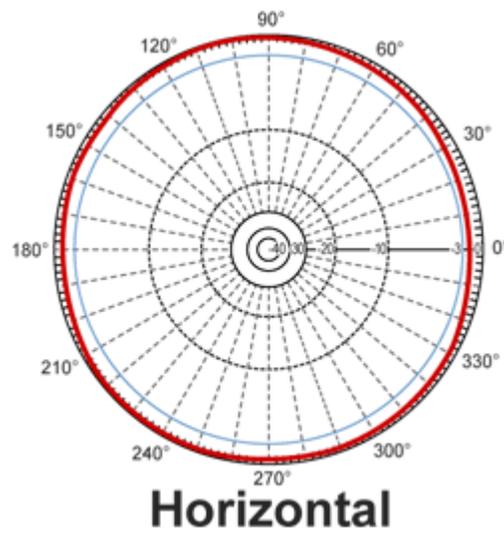


Figura 21 Patrón horizontal de Antena Isotrópica generado por el fabricante

8.2 Antena de Cercanías

a. Puntos identificados

Se hace la identificación de los puntos de medición partiendo de la Antena de Cercanías en orientación dos orientaciones diferentes, sur-norte desde la antena hasta la Universidad El Bosque y en orientación norte-sur desde la antena hasta la calle 127.

Orientación sur-norte.



Figura 22 Mapa Antena de Cercanías hacia la Universidad El Bosque

Distancia total: 280 metros teniendo en cuenta que cada punto se realiza a una distancia entre sí con el siguiente punto de 6m se identifican un total de 42 puntos de mediciones.

Orientación norte-sur



Figura 23 Mapa antena de Cercanías, hacia la calle 127

Distancia total: 370 metros teniendo en cuenta que cada punto se realiza a una distancia entre sí con el siguiente punto de 6m se identifican un total de 62 puntos de mediciones.

B. Espacio de medición

Sentido Sur- Norte hacia la Universidad el Bosque

Para esta orientación el ambiente de propagación de la radiación tiene una serie de estructuras más robustas ya que posee edificios con bastante altura como se puede apreciar en las siguientes 3 figuras.



Figura 24 ubicación antena de cercanías sentido Sur-norte



Figura 25 espacio de medición Antena de cercanías sur –norte



Figura 26 espacio a 200 metros sentido norte- sur de la antena de cercanías

- **Sentido norte-sur hacia la calle 127**

Esta orientación cuenta con cambios del ambiente de propagación de radiación, como se puede ver las estructuras son de alturas medias y bajas durante toda la orientación y cuenta con una gran cantidad de zona verde correspondiente a un parque.



Figura 27 ubicación antena de cercanías sentido Norte-sur



Figura 28 ubicación parque sentido Norte-sur hacia la calle 127



Figura 29 espacio ubicado en la Calle 127

9 RESULTADOS

10.1. Caracterización del patrón de medición de Antenas

- **Patrón horizontal de medición de radiación Antena Isotrópica**

Las siguientes dos figuras corresponden al resultado radial de las magnitudes obtenidas en la caracterización del patrón de medición realizada en 2018-2. La figura 28 es el gráfico radial de la potencia obtenida de la señal, y la figura 29 corresponde al gráfico radial V/m una vez y tratados los datos y transformados a esta unidad.

Patrón horizontal de medición de radiación antena Isotrópica

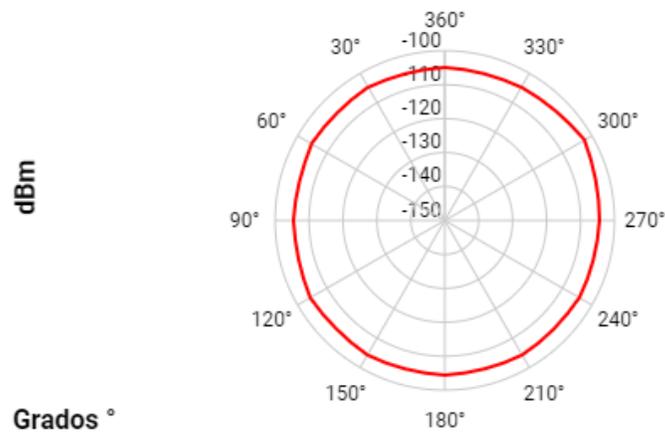


Figura 28 Patrón de medición de radiación antena isotrópica

Patrón horizontal de medición antena Isotrópica V/m

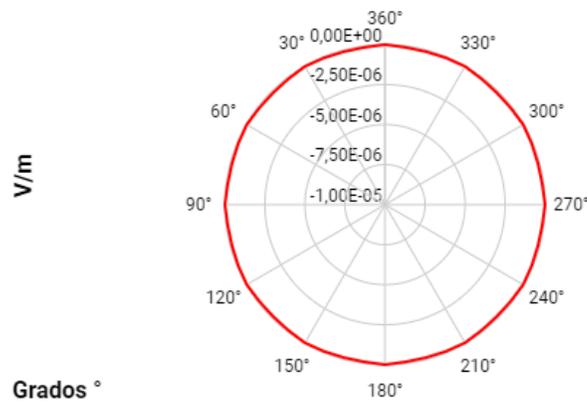


Figura 29 Grafica de patrón horizontal de medición de radiación antena isotrópica

- **Patrón horizontal de medición radiación Antena Omnidireccional**

Las siguientes dos figuras corresponden al resultado radial de las magnitudes obtenidas en la caracterización del patrón de medición realizada en 2019-1. La figura 30 es el gráfico radial de la potencia obtenida de la señal, y la figura 31 corresponde

al grafico radial V/m. Cabe resaltar que, para asegurar el análisis y una comparación directa de los gráficos radiales, estos se obtienen a partir de 12 mediciones de las 24 hechas ya que los patrones de radiación de la antena Isotrópica son hechos a partir de 12 magnitudes.

Patrón horizontal de medición de radiación Omnilog 70600

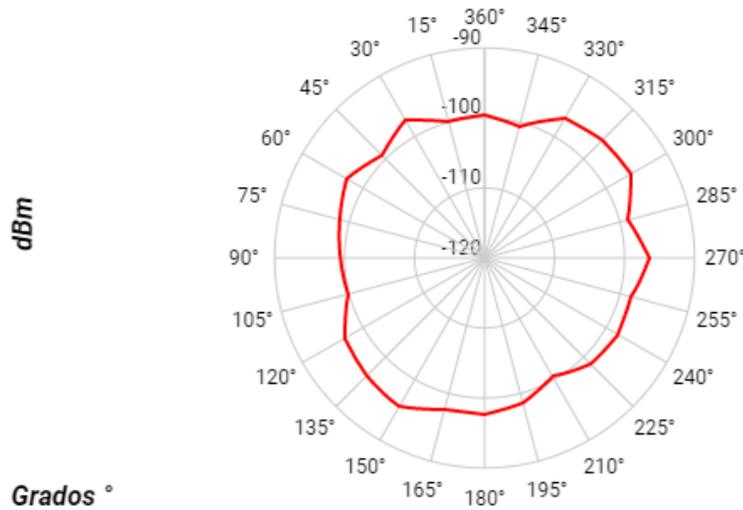


Figura 30 Patrón de radiación antena omnidireccional 70600

Patrón horizontal de medición de radiación Omnilog 70600

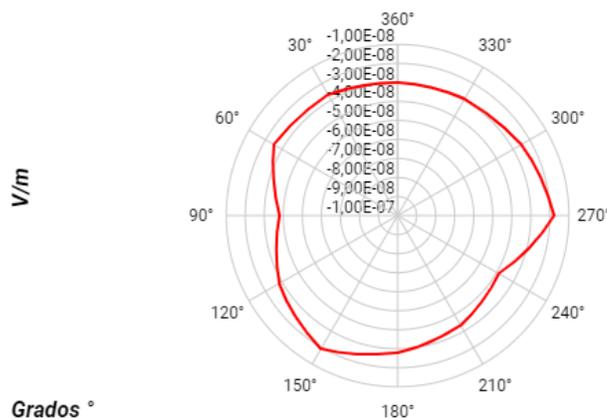


Figura 31 Patrón de radiación antena omnidireccional 70600

10.2. Antena de Cercanías

- **Antena Isotrópica**

Valores gráficos de la orientación sur-norte, desde la Antena de Cercanías a la Universidad El Bosque

Para esta orientación se tienen 42 puntos de medición representados en el eje horizontal (x) de las figuras 32 y 33, para cada punto de medición se tiene la misma magnitud de V/m en el eje vertical en las dos figuras.

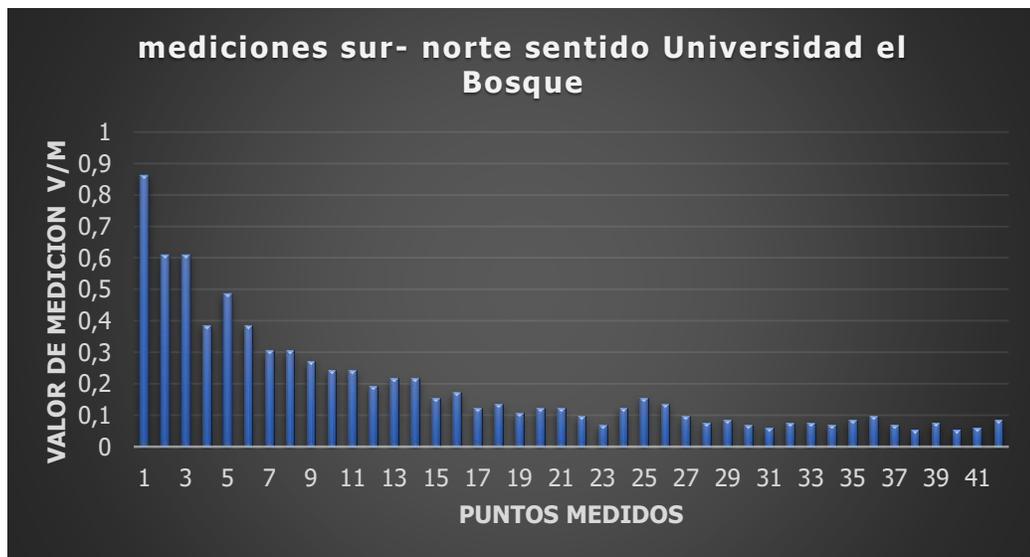


Figura 32 Gráfica de valores medidos en unidades de V/m.

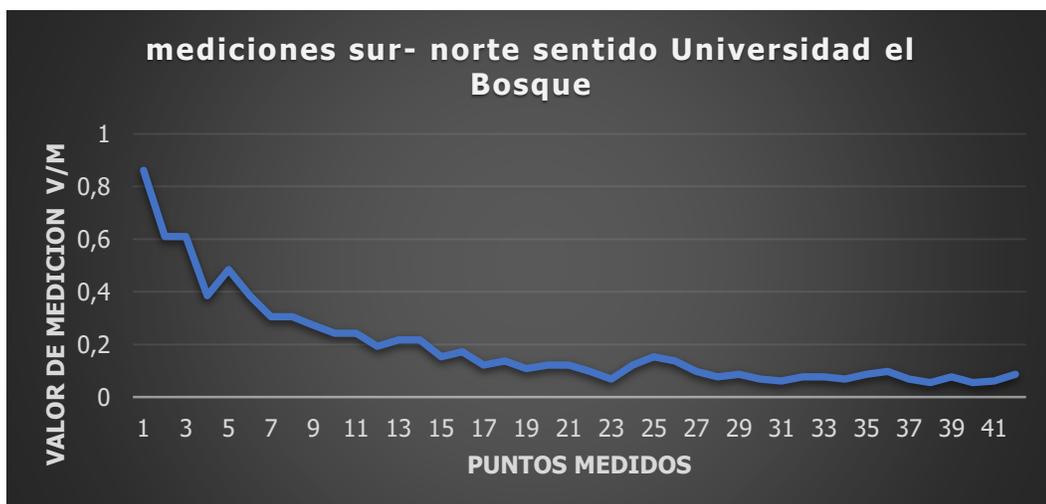


Figura 33 Gráfica de valores obteniendo su curva de desplazamiento

Valores gráficos de la orientación norte-sur, de la Antena de Cercanías hasta la calle 127.

Para esta orientación se tienen 62 puntos de medición representados en el eje horizontal (x) de las figuras 34 y 35, para cada punto de medición se tiene la misma magnitud de V/m en el eje vertical en las dos figuras.



Figura 34 Gráfica de valores medidos en unidades de V/m.

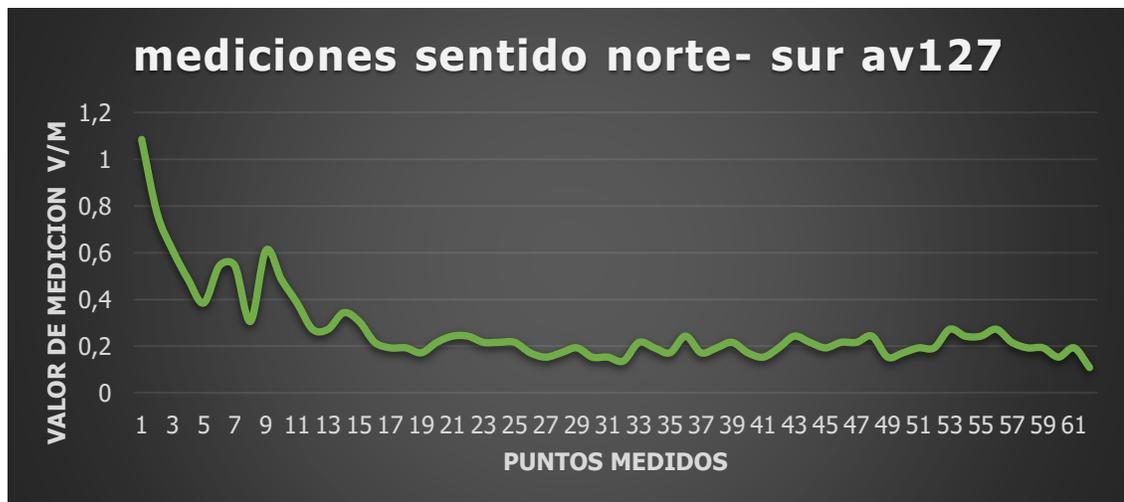


Figura 35 Gráfica de valores obteniendo su curva de desplazamiento

- **Antena Omnidireccional**

Valores gráficos de la orientación sur-norte, desde la Antena de Cercanías a la Universidad El Bosque

Para esta orientación se tienen 42 puntos de medición representados en el eje horizontal (x) de las figuras 32 y 33, para cada punto de medición se tiene la misma magnitud de V/m en el eje vertical en las dos figuras.

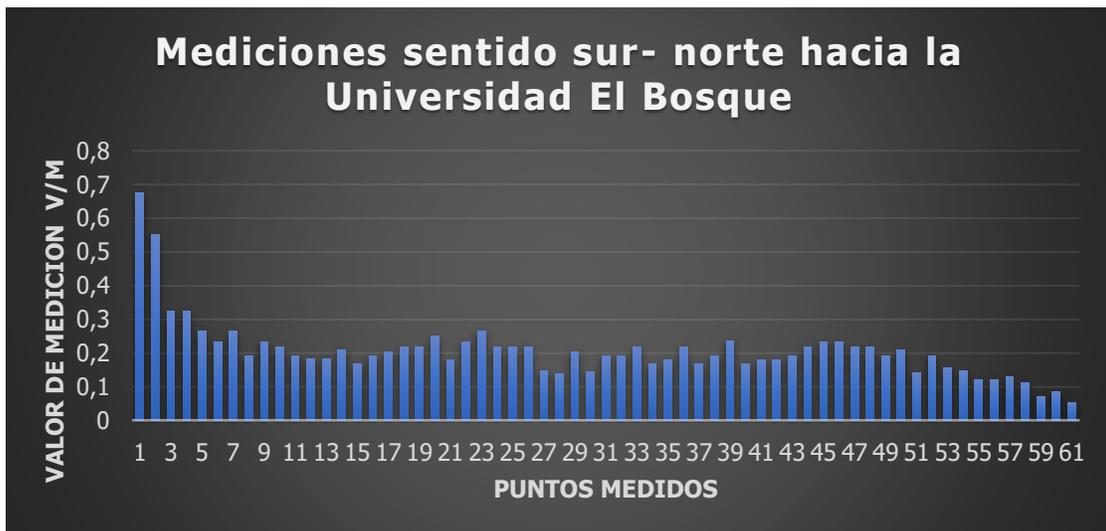


Figura 36 Grafica de desplazamiento antena omnidireccional sentido sur-norte

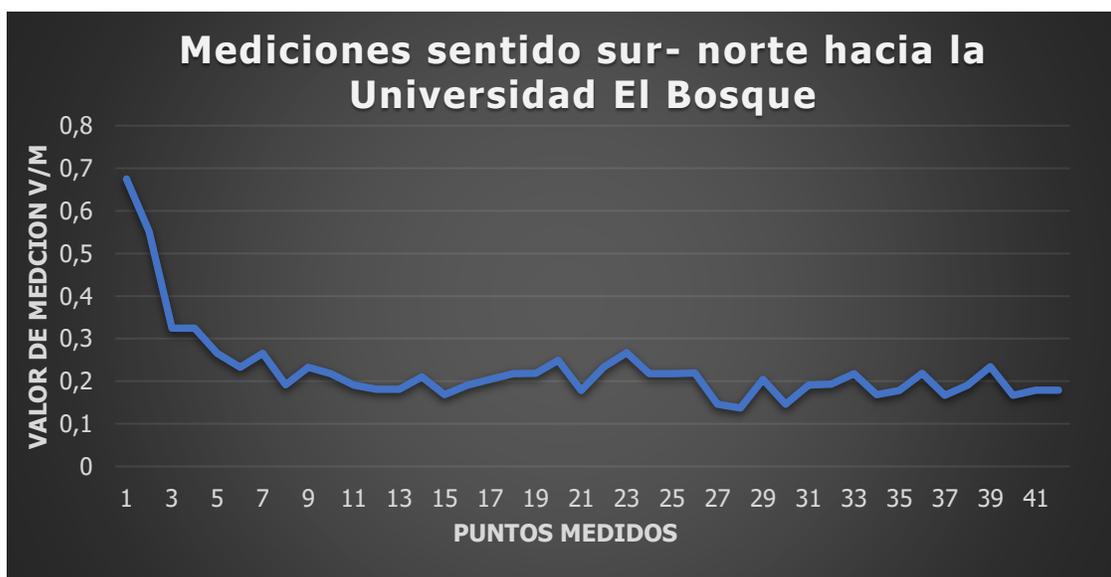


Figura 37 Grafica de valores obtenidos antena omnidireccional sentido sur-norte

Valores gráficos de la orientación norte-sur, de la Antena de Cercanías hasta la calle 127.

Para esta orientación se tienen 62 puntos de medición representados en el eje horizontal (x) de las figuras 38 y 39, para cada punto de medición se tiene la misma magnitud de V/m en el eje vertical en las dos figuras.

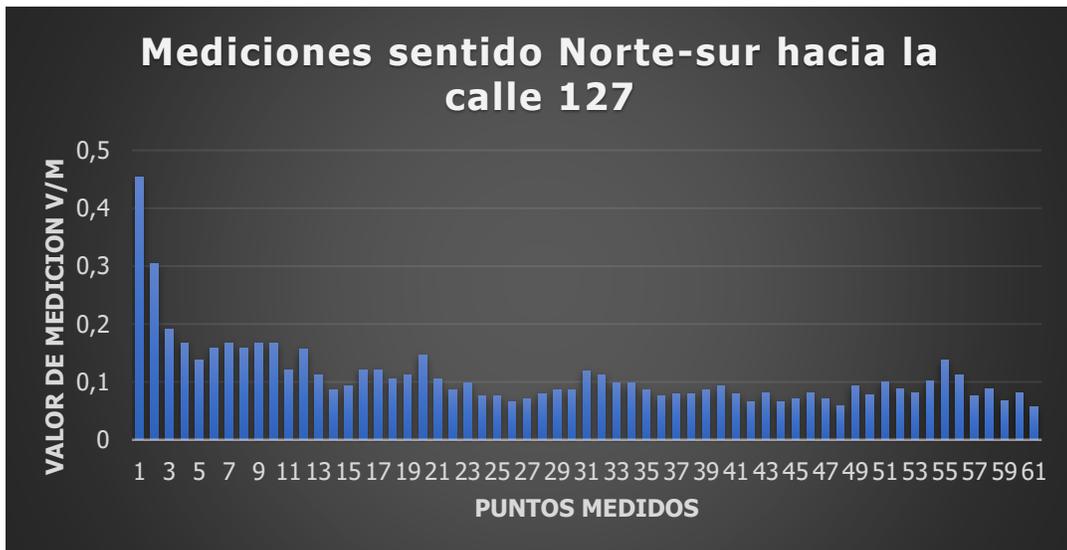


Figura 38 Grafica de desplazamiento antena omnidireccional sentido norte- sur



Figura 34 Gráfica de valores obtenidos antena omnidireccional sentido norte- sur

- **Graficas de las dos antenas para cada orientación**

Sentido sur norte

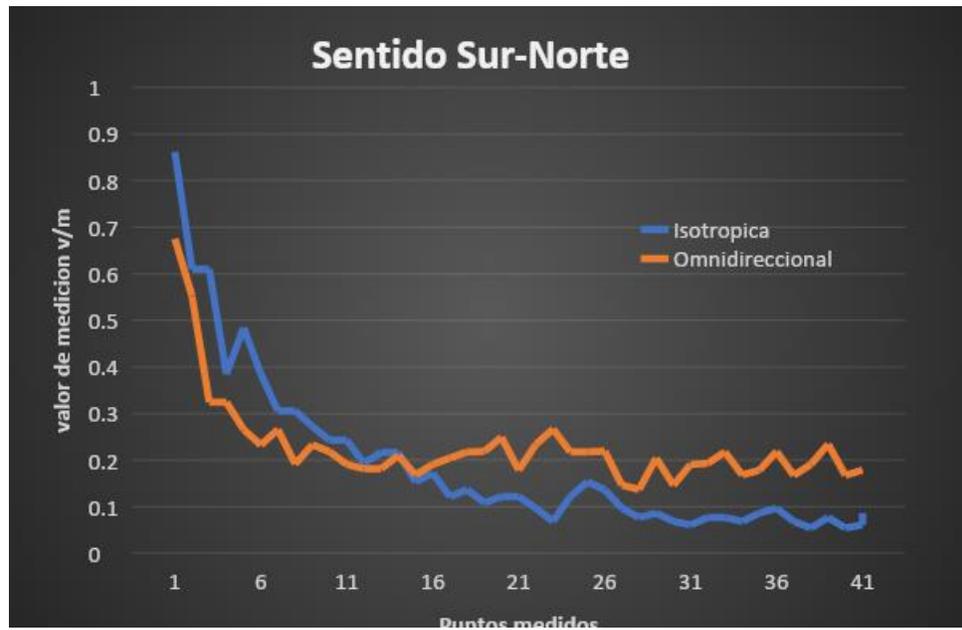


Figura 40 Comparación datos Sur-Norte

Sentido norte sur

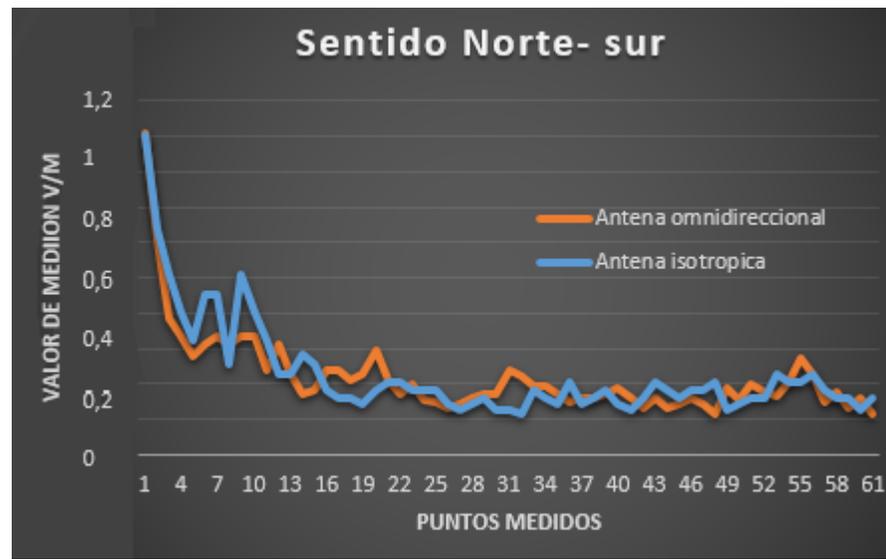


Figura 41 Comparación datos sentido norte- sur

10 DISCUSIÓN

10.1 Caracterización de Antenas

Comparando el patrón horizontal de medición obtenido para la antena Omnidireccional figura 30 con el patrón horizontal del fabricante figura 20, se observan similitudes en ciertos rangos angulares, de los **30° a 150°** se puede observar un achatamiento o variabilidad similar para los dos patrones como también un comportamiento más estable para el rango de **180° a 270°**

Comparando las figuras **28 vs 30**, correspondientes a los patrones horizontales de medición de las antenas Isotrópica vs Omnidireccional en unidades de potencia, podemos observar que el patrón Isotrópico es constante con promedio de **-104,4dBm** mientras que el promedio del patrón Omnidireccional tiene un valor promedio mucho mayor de **-97,87dbm** debido a su variabilidad de magnitud para los rangos de **30°-270°**.

Comparando las figuras **29 vs 31**, correspondientes a los patrones horizontales de medición de radiación de las antenas Isotrópica vs Omnidireccional en unidades de campo, podemos observar que el patrón Isotrópico es constante de magnitud más alta con promedio de **-1.21E-8 V/m** mientras que la Omnidireccional tiene un valor promedio mucho menor de **-2.74E-8 V/m** debido a su variabilidad de magnitud para los rangos de **30°-270°**.

10.2 Antena de Cercanías

Comparando las figuras **33** vs **35**, correspondientes a las mediciones de la antena Isotrópica enfrentando las orientaciones **sur-norte** vs **norte-sur** podemos observar un decrecimiento constante en los primeros 10 puntos para sur-norte, mientras que observamos una variabilidad para los primeros 10 puntos norte-sur.

Comparando las figuras **37** vs **39**, correspondientes a las mediciones de la antena Omnidireccional enfrentando las orientaciones **sur-norte** vs **norte-sur** podemos observar un decrecimiento constante del punto **1-15** para sur-norte, mientras que observamos una caída más rápida de la señal para los puntos **1-7** y luego se ve un alza en las magnitudes de los puntos **7-15** para norte-sur.

Comparando directamente el comportamiento descrito por cada una de las antenas para la orientación norte-sur expuesto en la figura 40, Para los primeros 15 puntos podemos observar que la Antena Omnidireccional posee una caída y estabilización más rápida oscilando en un rango entre los **0,2 - 0,4 V/m**, mientras que la antenas Isotrópica que presenta una oscilación en un rango más amplio entre lo **0,1 a 0,6 V/m**.

En la figura 40 correspondiente a la orientación norte-sur, se observa que en los 20 puntos de medición comprendidos entre los puntos **30 a 50** para las dos antenas se tiene un alza en la magnitud obtenida, sin embargo se puede evidenciar más el alza en la línea azul correspondiente a la antena isotrópica puesto que esta presenta más picos sobre los **0,2 V/m** con respecto a la omnidireccional.

Comparando directamente el comportamiento descrito por cada una de las antenas para la orientación sur-norte expuesto en la figura 41, podemos observar una estabilización más rápida en la señal obtenida para la antena Omnidireccional obteniendo valores cercanos a los **0,2 V/m**, mientras que la antena Isotrópica tiende a decrecer durante todos los puntos de medición estabilizándose en valores cercanos a **0,1 V/m**.

En la figura 41 correspondiente a la orientación sur-norte, observamos una clara diferencia entre las magnitudes obtenidas para las dos antenas, puesto que en los primeros **15** puntos la antena Isotrópica representada en azul tiene valores mayores en magnitud de **0,1 V/m** a los valores de la antena Omnidireccional línea naranja, mientras que en el resto de la gráfica de los puntos **15 a 42** la antena que tiene valores con mayor magnitud es la omnidireccional también con una diferencia de **0,1 V/m** con respecto a la Isotrópica.

11 CONCLUSIONES

A partir de la comparación de los patrones de medición de radiación de las antenas con los patrones de medición obtenidos para estas, se afirma que la ganancia de la antena Isotrópica es constante, mientras que la ganancia de la Omnidireccional es variable según su orientación física.

Con la comparación de los patrones de medición a en unidades V/m se evidencia por qué se recomienda el uso de antenas Isotrópicas para la medición en la tecnología 4G por parte de la Norma Irlandesa ya que esta no tiene variabilidad respecto a su orientación física como si se observa con la antena Omnidireccional.

El patrón horizontal de medición de la Antena OmniLOG 70600, tiene un alto grado de similitud con el patrón que ofrece el fabricante, se puede apreciar las propiedades de la antena, ya que en el rango de 30° - 180° la antena OmniLOG 70600 tiene una disminución en la percepción de los valores como se refleja en la Caracterización del patrón de medición.

Los resultados de la caracterización del patrón de medición obtenidos son óptimos para el análisis, se puede llegar a una mejora a partir de la implementación de un sistema automatizado y controlado, optimizando la rotación radial de las antenas, esto se puede hacer reproduciendo este experimento en un laboratorio especializado como el de la Universidad Distrital o la Universidad de los Andes.

Los cambios de magnitud para las mediciones de la Antena de Cercanías entre las dos antenas se relacionan a los posibles cambios de la radiación emitida por la antena entre los días de medición, ya que la medición con la antena Isotrópica se hizo el semestre 2018-2 mientras que las realizadas con la Omnidireccional se hicieron en 2019-1.

Por la variabilidad de la radiación entre las mediciones de las dos antenas se recomienda hacer un barrido de medición, que se componga por más de una sesión de medición, ya sea que se hagan mediciones durante una semana para cada antena.

Los cambios en las dos orientaciones sur-norte vs norte-sur para las antenas Isotrópica y Omnidireccional revela la influencia de las diferencias de los ambientes de propagación para las orientaciones, ya que en norte-sur se obtienen magnitudes altas para las zonas más abiertas.

12 REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] R. Emissions, "Site Survey Methodology," no. January, 2014.
- [2] ROHDE&SCHWARZ, "R&S®FSH3 Spectrum Analyzer," 2018. [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/lat/producto/fsh3-6-18-pagina-de-inicio-producto_63493-358532.html?rusprivacypolicy=1.
- [3] E. De R and S. Fsh, "R & S ® FSH Analizador de espectro portátil La plataforma portátil

«todo en uno» Analizador de - espectro portátil R & S ® FSH Generalidades.”

- [4] Guillem Alsina, “Medidor de campos electromagnéticos de alta frecuencia,” *1 junio*, 2017. [Online]. Available: <https://www.instrumentacionhoy.com/medidor-campos-electromagneticos-de-alta-frecuencia/>.
- [5] S. Hf-e, “Analizador de espectro de bajo costo,” pp. 1–9, 2016.
- [6] Aaronia, “antena OmniLOG® 70600.” [Online]. Available: <https://www.aaronia.com/products/antennas/OmniLOG-70600-Omni-Directional-Antenna/>.
- [7] R. INNOVATION, “DSG3000 SERIES | RF SIGNAL GENERATOR.” [Online]. Available: <https://www.rigolna.com/products/rf-signal-generators/dsg3000/>.
- [8] U. Guide, “Spectrum Master ä,” no. September, 2009.
- [9] Aaronia, “Aaronia Spectrum Analyzer Software MCS.” [Online]. Available: <https://www.aaronia.com/products/software/>.
- [10] U. M. Angel, “LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.” [Online]. Available: http://repositorio.innovacionmh.es/Proyectos/P_22CursoMateriales/Miguel_Angel_Sogorb/Wimba/Espectroscopia_02.htm.
- [11] A. Tecnologia, “LTE y LTE Advanced.” [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/tecnologia/lte.html>.
- [12] M. Rouse, “downlink and uplink.” [Online]. Available: <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/downlink-and-uplink>.
- [13] Lucas Ledesma, “AWS, 2,5 GHz y 700 MHz ofrecen una gran oportunidad para masificar la banda ancha móvil en América Latina,” 2012. [Online]. Available: <https://www.telesemana.com/blog/2012/10/02/aws-25-ghz-y-700-mhz-ofrecen-una-gran-oportunidad-para-masificar-la-banda-ancha-movil-en-america-latina/>.
- [14] Aaronia AG, “Radial-isotropic ultra broadband antenna OmniLOG 70600,” pp. 1–4, 2014.