



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**  
**ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

“MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE  
PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR.”

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**SUBLINEA DE INVESTIGACION:** Programación de dispositivos de Comunicación

**AUTORA:** Lizbeth Dayan Bonilla Guatatoa

**TUTOR:** Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez. Mg

Ambato - Ecuador

MAYO, 2016

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR.” de la señorita Lizbeth Dayan Bonilla Guatatocha, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigación reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Marzo 2016

## **EL TUTOR**

---

Ing. Mg. Julio Enrique Cuji Rodríguez

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado “MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Marzo 2016

---

Bonilla Guatatoca Lizbeth Dayan

CC: 160050182-7

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación. Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Marzo 2016

---

Bonilla Guatatoca Lizbeth Dayan

CC: 160050182-7

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR” presentado por la señorita Lizbeth Dayan Bonilla Guatatoca de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Marco Antonio Jurado Lozada, Mg.

**DOCENTE CALIFICADOR**

---

Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo

**DOCENTE CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

*El esfuerzo y sacrificio que representa este trabajo con orgullo se lo dedico a:*

*A mi madre Sandra Guatatoca, quien ha sido madre y padre a la vez, entregándome de todo su sacrificio y apoyo incondicional para que nunca me falte nada y sea una mujer profesional. ¡Te amo mami!*

*A mi abuelita y segunda madre Rebeca Yasacama por sus consejos, sus sermones, su amor, por la motivación constante que me ha permitido salir adelante.*

*A mi familia y amigos que no dudaron en que lo lograrían los cuales estuvieron allí en las buenas y en las malas.*

**Lizbeth Bonilla**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y las ganas que me han permitido alcanzar mis metas.*

*A mi madre por el apoyo y confianza incondicional que me han permitido cumplir esta meta en mi vida.*

*A todos los maestros de la FISEI que me apoyaron, y brindaron todos sus conocimientos.*

*A mi profesor tutor Ing. Julio Cuji quien me brindo todo su apoyo y conocimientos para la culminación de este trabajo de investigación.*

*A mis amigos quienes compartieron, me apoyaron durante todo este tiempo de vida universitaria.*

**Lizbeth Bonilla**

## ÍNDICE

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR.....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA.....</b>	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR.....</b>	<b>IV</b>
<b>APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.3 Delimitación .....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo General .....	4
1.5.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes Investigativos .....	5
2.2 Fundamentación Teórica .....	6
2.2.1 Campos Eléctricos .....	6
2.2.2 Campos Magnéticos .....	7
2.2.3 Campos Electromagnéticos .....	8
2.2.4 Características de los campos Electromagnéticos Radiados .....	8
2.2.5 Espectro Electromagnético.....	10
2.2.6 Clasificación de radiaciones .....	11



2.2.7 Redes de telecomunicaciones móviles .....	16
2.3 Organizaciones protectoras contra Radiaciones no Ionizantes .....	28
2.3.1 Organización Mundial de la Salud (OMS).....	28
2.3.2 Comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (ICNIRP).....	29
2.3.3 Recomendaciones de la UIT.....	29
2.3.4 Espectro radioeléctrico en Ecuador.....	31
2.4 Modelo matemático.....	40
2.4.1 Principios de Modelamiento Matemático.....	41
2.4.2 Clasificación de modelos matemáticos .....	43
2.4.3 Modelos matemáticos por medio de Métodos numéricos .....	47
2.5 Software para la modelación matemática.....	61
2.5.1 Java.....	61
2.5.2 MATLAB (Matrix Laboratory).....	62
2.5.3 Delphi .....	63
2.5.4 Python.....	65
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>67</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>67</b>
3.1 Modalidad de la Investigación .....	67
3.2 Población y Muestra.....	67
3.3 Recolección de la Información.....	67
3.4 Procesamiento y Análisis de datos .....	68
3.5 Desarrollo del Proyecto .....	68
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>70</b>
<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>70</b>
4.1 Situación Actual .....	71
4.2 Factibilidad.....	72
4.2.1 Factibilidad Técnica .....	72
4.2.2 Factibilidad Económica.....	72
4.2.3 Factibilidad Bibliográfica.....	72
4.3 Requerimientos.....	73
4.3.1 Hardware .....	73
4.3.2 Software.....	77
4.4 Estudio de las radiaciones no ionizantes .....	78

4.4.1 Fuentes principales y niveles de exposición.....	79
4.4.2 Efectos biológicos en la salud del ser humano.....	81
4.5 Evaluación del procedimiento de medición.....	87
4.5.1 Aplicación de recomendaciones.....	87
4.5.2 Método de medición impuesto por ARCOTEL.....	88
4.6 Mediciones de estaciones:.....	89
4.6.1 Elaboración de levantamiento planimétrico.....	90
4.7 Realización de medición de campos electromagnéticos.....	95
4.7.1 Punto 1 (CLARO).....	95
4.7.2 Punto 2 (MOVISTAR).....	101
4.7.3 Punto 3 (CNT).....	108
4.8 Elaboración del modelo matemático.....	116
4.8.1 Modelación estación base CONECEL:.....	119
4.8.2 Modelación estación Base OTECEL:.....	121
4.8.3 Modelación estación base CNT.....	123
4.9 Diseño de aplicación modelo matemático.....	128
4.9.1 Explicación de Aplicación.....	128
4.9.2 Validación de modelo matemático.....	136
4.10 Presupuesto de la investigación.....	137
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>138</b>
5.1 Conclusiones.....	138
5.2 Recomendaciones.....	139
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>146</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II

Fig. 2. 1. Representación de los Campos Eléctricos .....	6
Fig. 2. 2 Representación de los Campos Magnéticos .....	7
Fig. 2. 3 Representación de una onda Electromagnética .....	8
Fig. 2. 4 Propagación de ondas electromagnéticas .....	9
Fig. 2. 5 Espectro Electromagnético .....	10
Fig. 2. 6 División de moléculas a causa de energía electromagnética .....	12
Fig. 2. 7 Representación de radiación ionizante con un fotón.....	13
Fig. 2. 8 Esquema de Red de comunicaciones móviles .....	16
Fig. 2. 9 Celdas sectorizadas.....	17
Fig. 2. 10 Instalación de antena en una estación base y el enlace con la central móvil..	19
Fig. 2. 11 Componentes internos de la instalación de una estación base .....	19
Fig. 2. 12 Impedancia de entrada de una antena .....	21
Fig. 2. 13 Polarización de Antenas .....	22
Fig. 2. 14 Regiones de campo radiados .....	25
Fig. 2. 15 Antena omnidireccional y sus patrones de radiación .....	25
Fig. 2. 16 Antena sectorial y sus patrones de radiación.....	26
Fig. 2. 17 Antenas sectorizadas con Recepción de Diversidad de polarización. ....	26
Fig. 2. 18 Forma de haz de una antena típica utilizada en estación base.....	27
Fig. 2. 19 Downtilt Mecánico .....	28
Fig. 2. 20. Downtilt Eléctrico .....	28
Fig. 2. 21 Servicios Controlador por Arcotel.....	32
Fig. 2. 22 Participación de mercado de las distintas operadoras. ....	40
Fig. 2. 23 Creación de modelo matemático .....	42
Fig. 2. 24 Rotación entre ángulos de dos vectores.....	53
Fig. 2. 25 Perpendicularidad de vectores .....	53
Fig. 2. 26 Proyección ortogonal de $v$ en $u$ .....	54
Fig. 2. 27 Proyecciones unidimensionales.....	55
Fig. 2. 28. Función creciente.....	58
Fig. 2. 29. Función decreciente.....	59
Fig. 2. 30. Modelación exponencial.....	59
Fig. 2. 31. Gráfica de variación de $\alpha$ .....	60

Fig. 2. 32 Ventana principal de Delphi .....	64
--	----

## **CAPITULO IV**

Fig. 4. 1 GPS ETREX 10.....	76
Fig. 4. 2 Campo lejano y cercano .....	88
Fig. 4. 3 Esquema de medición.....	90
Fig. 4. 4 Ubicación de estaciones base en el cantón Mera.....	90
Fig. 4. 5 Levantamiento planimétrico del cantón Mera.....	91
Fig. 4. 6 Estación Base de operadora CONECEL .....	92
Fig. 4. 7 Estación Base de operadora OTECEL .....	93
Fig. 4. 8 Estación Base de operadora CNT E.P .....	94
Fig. 4. 9 Diagrama de puntos de mediciones .....	95
Fig. 4. 10 Medición a 5m de estación .....	96
Fig. 4. 11 Medición a 50m de la estación base.....	96
Fig. 4. 12 Variación de campo eléctrico de Claro .....	97
Fig. 4. 13 Variación de campo eléctrico de Claro .....	101
Fig. 4. 14 Diagrama de puntos de mediciones .....	102
Fig. 4. 15 Medición a 10m de estación base.....	103
Fig. 4. 16 Diagrama de mediciones .....	103
Fig. 4. 17 Diagrama de mediciones .....	104
Fig. 4. 18. Promedio de campo eléctrico Movistar.....	108
Fig. 4. 19. Diagrama de puntos de mediciones.....	109
Fig. 4. 20 Medición a 20m de estación base.....	110
Fig. 4. 21 Diagrama de mediciones CNT .....	110
Fig. 4. 22 Antenas de CNT .....	111
Fig. 4. 23 Promedio de campo eléctrico CNT .....	115
Fig. 4. 24 Mediciones de Conecel.....	116
Fig. 4. 25 Datos recopilados de Claro.....	120
Fig. 4. 26 Coeficientes obtenidos de modelación .....	121
Fig. 4. 27 Modelación matemática de Claro .....	121
Fig. 4. 28 Datos de medición de Movistar.....	122
Fig. 4. 29 Coeficientes obtenidos de modelación .....	123
Fig. 4. 30 Modelación matemática de Movistar .....	123
Fig. 4. 31 Datos recopilados de CNT.....	124

Fig. 4. 32 Coeficientes obtenidos de modelación .....	125
Fig. 4. 33 Modelación matemática de CNT .....	125
Fig. 4. 34 Recopilación de Datos .....	126
Fig. 4. 35 Modelación Matemática Final .....	126
Fig. 4. 36 Representación de Modelación Matemática Final .....	127
Fig. 4. 37 Representación de página principal de Aplicación. ....	128
Fig. 4. 38 Interfaz gráfica de usuario ESTACIONES.....	129
Fig. 4. 39 Resultados otorgados por Movistar .....	130
Fig. 4. 40 Resultados otorgados por CNT .....	130
Fig. 4. 41 Interacción de modelos matemáticos.....	131
Fig. 4. 42 Modelación Matemática Final. ....	131
Fig. 4. 43 Resultados de ubicación de nueva estación base Claro.....	132
Fig. 4. 44 Ingreso de datos .....	132
Fig. 4. 45 Datos medidas realizadas y calculadas.....	132
Fig. 4. 46 Cálculo de Azimut.....	133
Fig. 4. 47 Cálculo de niveles de decisión .....	134
Fig. 4. 48 Funcionamiento de Modelación Matemática Final .....	136

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO II

Tabla 2. 1 Espectro de radiofrecuencia.....	11
Tabla 2. 2 Clasificación de radiaciones ionizantes y no ionizantes.....	12
Tabla 2. 3 Frecuencias y los componentes que las producen .....	15
Tabla 2. 4 Límites de exposición .....	32
Tabla 2. 5 Límites de exposición ocupacional.....	33
Tabla 2. 6 Límites de exposición ocupacional.....	33
Tabla 2. 7 Número total de estaciones base de empresa CONECEL S.A. ....	35
Tabla 2. 8 Número total de estaciones base de empresa OTECEL S.A. ....	36
Tabla 2. 9 Número total de estaciones base de empresa CNT E.P. ....	38
Tabla 2. 10 Incremento cronológico de líneas activas.....	39

### CAPITULO IV

Tabla 4. 1 Características Técnicas.....	73
Tabla 4. 2 Costos de Equipos.....	75
Tabla 4. 3 Características físicas GPS ETREX 10 .....	76
Tabla 4. 4 Análisis comparativo de los lenguajes de programación.....	77
Tabla 4. 5 Representación de puntos de medición.....	95
Tabla 4. 6 Representación de puntos de medición.....	102
Tabla 4. 7 Representación de puntos de medición.....	109
Tabla 4. 8 Representación de puntos de medición.....	117
Tabla 4. 9 Métodos de modelación matemática. ....	117
Tabla 4. 10 Representación de puntos de medición.....	118
Tabla 4. 11 Valores de campos de densidad de potencia.....	137
Tabla 4. 12 Costos de dispositivos.....	137

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La sociedad actual utiliza las telecomunicaciones como un principal medio de comunicación, tal es el caso de la telefonía móvil que ha tenido en los últimos años una gran expansión, desde los servicios ofertados hasta las infraestructuras para soportarlos.

Debido a la importancia que están tomando las nuevas tecnologías de telefonía celular en la vida cotidiana, se han aprobado reglamentos otorgados por las organizaciones encargadas de protección contra las Radiaciones no Ionizantes (RNI), como lo son la Organización Mundial de la Salud y la Comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (ICNIRP), los cuales han generado límites de la exposición humana a los campos electromagnéticos (CEM) y por lo cual se obliga a las operadoras a realizar campañas de certificación de sus estaciones base para controlar sus emisiones electromagnéticas.

En esta investigación se ha desarrollado una aplicación que acelera el proceso de estudio por medio de una modelación matemática, que determina si las emisiones electromagnéticas generadas por la ubicación de nuevas estaciones base sobrepasa límites de exposición electromagnéticas, lo cual optimiza el proceso de ubicación a la vez brinda seguridad a la población donde estas sean ubicadas.

Para el desarrollo del proyecto se compró un dispositivo de medición electromagnética, con el propósito de realizar las mediciones de emisiones electromagnéticas producidas por las estaciones bases ya existentes en el cantón Mera de la provincia de Pastaza. Los datos de las mediciones sirvieron para la elaboración de la modelación matemática.

En la aplicación se realizó una comparación con los valores de densidad de potencia adquiridos por medio del dispositivo de medición electromagnética Spectran HF2025E y los valores simulados del incremento de radiación no ionizante producido por la ubicación de una nueva estación base, con el fin de visualizar si el incremento de emisiones electromagnéticas afecta o no a la población.

Palabras clave: campos electromagnéticos, radiación, telefonía móvil, modelo matemático.

## **ABSTRACT**

The current telecommunications company uses as a primary means of communication, as in the case of mobile telephony has had in recent years a major expansion from the services offered to Endure infrastructures.

The importance of taking new cell phone technologies in everyday life, they have adopted regulations issued by the organizations responsible for protection against non-ionizing radiation (NIR), as are the World Health Organization and the Commission international for protection against non-ionizing radiation (ICNIRP), which have generated limits of human exposure to electromagnetic fields (EMF) and for which the operators are forced to perform base campaigns certification of its stations to control their electromagnetic emissions.

This research has developed an application that accelerates the process of study by a mathematical model, which determines whether electromagnetic emissions generated by the location of new base stations exceeds limits of electromagnetic exposure, which optimizes the placement process to while it is providing security to the population where these are located.

For the project, electromagnetic measuring device was purchased, for making measurements of electromagnetic emissions from existing base in the Mera canton of province Pastaza stations. The measurement data were used for the development of mathematical modeling.

In implementing a comparison with the values of power density acquired by means of the electromagnetic measuring Spectran HF2025E and simulated values increase nonionizing radiation produced by the location of a new base station in order to visualize performed if or increased electromagnetic emissions not affect the population.

**Keywords:** electromagnetic fields, radiation, mobile phone, mathematical model.



## ACRÓNIMOS

**ARCOTEL:** Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

**CEM:** Campos electromagnéticos

**EEG:** Electroencefalografía

**ELF:** Frecuencias extremadamente bajas

**HF:** High Frequency

**IARC:** Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

**ICNIRP:** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IRPA:** Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**ONU:** Organización de Naciones Unidas

**RF:** Radiofrecuencia

**RNI:** Radiaciones no ionizantes

**SAR:** absorción de tasa específica

**SMA:** Servicio Móvil Avanzado

**STMC:** Servicios de telecomunicaciones móviles celulares

**UIT:** Union Internacional de Telecomunicaciones

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en la elaboración de una modelación matemática que determina si la ubicación de una nueva estación base de telefonía celular, sobrepasa los límites de emisiones electromagnéticas establecidos por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). Para lo cual se desarrolló una aplicación que acelera el proceso de verificación de las emisiones de radiación no ionizante y a la vez permite visualizar el funcionamiento del modelo matemático. El proyecto se ha estructurado de la siguiente manera:

El primer capítulo describe la problemática que existe en la población del cantón Mera por el temor a las emisiones electromagnéticas producidas por las tres estaciones base ubicadas a poca distancia una de la otra en dicho cantón, además se realizó la justificación del presente proyecto.

En el segundo capítulo se redacta el marco teórico, que consta de la explicación de los campos electromagnéticos, funcionamiento de las redes de telecomunicaciones de telefonía celular, recomendaciones de organizaciones protectoras contra radiaciones no ionizantes, además se analizan métodos de modelamiento matemático y se realiza la investigación del software apto para el desarrollo de la modelación matemática.

En el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada en el proyecto, haciendo referencia al tipo de investigación, recolección de la información necesaria para su realización y las actividades desarrolladas para cumplir con los objetivos propuestos.

En el cuarto capítulo se realiza el estudio de las radiaciones no ionizantes, selección del equipo de medición electromagnética, adquisición de datos de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia, mismos que sirven para desarrollo de la modelación matemática y de la aplicación. En la aplicación desarrollada se realiza las pruebas de funcionamiento del modelo matemático al incrementar una nueva estación base de telefonía celular y se verifica que las emisiones electromagnéticas no sobrepasen los límites establecidos por Arcotel.

Por último, en el quinto capítulo se redacta las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al finalizar la aplicación de la modelación matemática de la radiación no ionizante producida por las estaciones base de telefonía celular.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Tema**

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR.

### **1.2 Planteamiento del Problema**

Los campos electromagnéticos son desconocidos e imperceptibles para las personas lo cual indica una clara falta de comunicación e información a los ciudadanos sobre las emisiones electromagnéticas de la telefonía móvil, porque no existe un organismo o entidad encargada de informar sobre cómo actúan las emisiones de radiación no ionizante producidas por las estaciones base de telefonía celular, esto ha llevado a las personas a tener temor de dichas estaciones, lo que genera conflictos sociales y causa demoras en el despliegue de nuevas tecnologías inalámbricas. [1]

La ICNIRP el cual es un órgano regulador y consultivo máximo en materia de radiaciones no ionizantes en el mundo, este ha revisado las publicaciones de los efectos que producen en el cuerpo humano, animales y celular in vitro, concluyendo que los campos de alta frecuencia tienen la capacidad de penetrar en el cuerpo humano, con el efecto principal de un aumento de la temperatura en el tejido expuesto del ser humano.

El cuerpo humano puede adaptarse a pequeños aumentos de la temperatura de la misma manera como lo hace cuando se realiza ejercicio o actividades deportivas, esto se produce porque el cuerpo puede regular su temperatura interna. Sin embargo, por encima de una prolongada duración a la exposición de frecuencias altas (HF) y el

aumento de la temperatura producen efectos graves para la salud, tales como el golpe de calor y quemaduras. [2]

Otra situación, quizá más importante para los habitantes de una localidad, está dada por las antenas de las compañías operadoras, aunque estas antenas llaman la atención por su impacto visual, lo fundamental es saber si las frecuencias de las señales electromagnéticas con las que trabajan, representan un riesgo para la población que estaría expuesta a dichas señales.

Para enfocar este tema sin generar preocupaciones, las autoridades encargadas de las emisiones electromagnéticas, como los son la OMS y la ICNIRP, han establecido niveles de “densidad de potencia” que se consideran aceptables para personas que estén expuestas a campos electromagnéticos. Se ha establecido un valor de 0.2 milésimos de Watt por  $\text{cm}^2$  como límite. Este valor es el mismo que utilizan la mayor parte de los países del mundo y todos en Latinoamérica.

Vale mencionar que en diversos países se siguen haciendo estudios, analizando la posibilidad de efectos producidos por las emisiones electromagnéticas que atenten contra la calidad de vida del ser humano además del efecto térmico ya mencionado. En algún momento futuro los valores establecidos por las entidades de protección de campos electromagnéticos como la OMS y la ICNIRP podrían ser modificados elevando los valores de la densidad de potencia, llevando como consecuencia a que el ser humano adquiera enfermedades. [3]

Se recalca que la competencia entre las operadoras de telefonía móvil en el país ha llevado a las mismas a incrementar sus estaciones base con el fin de aumentar su cobertura con el objetivo de obtener más usuarios y de esta manera elevar sus ganancias. Esta competencia entre empresas ha causado que en el cantón Mera de la provincia de Pastaza se hayan implementado diversas estaciones base a poca distancia una de la otra.

### **1.3 Delimitación**

#### **Delimitación de Contenidos**

- Área Académica: Comunicaciones
- Línea de Investigación: Tecnologías de Comunicación

- Sublínea de Investigación: Antenas y propagación

### **Delimitación Espacial**

El presente proyecto se llevó a cabo en la provincia de Pastaza específicamente en la zona urbana del cantón Mera.

### **Delimitación Temporal**

El proyecto se realizó en el transcurso de 12 de Febrero de 2015 a 16 de Febrero de 2016 después de su aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## **1.4 Justificación**

El estudio de las emisiones producidas por las estaciones base de telefonía celular tanto de la empresa movistar, claro y CNT ayudaron a determinar el porcentaje de radiaciones no ionizantes que se produjeron en su momento de estudio, para comprobar si el rango de radiación está dentro de los límites permitidos por la Arcotel.

El proyecto es importante debido a que se desarrolló un modelo matemático el cual se encarga de determinar el incremento de radiación no ionizante que se produce al agregar una nueva estación base de telefonía celular en el cantón Mera y verificar si dicho incremento de radiación influye en la salud de las personas que habitan en dicha zona.

Esta es una idea innovadora en el ámbito de las telecomunicaciones especialmente en la telefonía celular ya que el proyecto ayudo a dar un pronóstico futuro de cómo influye el incremento de una estación base y el estudio de dichas estaciones base elimino la idea errónea de los habitantes de este sector, de que por el hecho de vivir cerca de las estaciones puedan adquirir alguna enfermedad como cáncer u otras enfermedades fatales.

De tal forma este proyecto generará un gran impacto social ya que es un modelo matemático innovador el cual posee grandes ventajas, lo primordial que determina si la radiación está dentro del rango permitido para el buen vivir de los habitantes por lo cual se considera que puede tener gran acogida en el mercado de telecomunicaciones.

Es factible su realización, puesto que en Ecuador se cuenta con los materiales, componentes, y sistemas necesarios para la realización del mismo, los cuales además

son accesibles económicamente. En el caso de no haber algún tipo de material para medición de la radiación no ionizante se puede importar del exterior a menor precio.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar una modelación matemática de la radiación no ionizante producida por las estaciones base de telefonía celular.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio histórico-bibliográfico de la incidencia de radiaciones no ionizantes en el ser humano.
- Determinar las variables que serán parte del modelo matemático en base a las mediciones de las radiaciones en las estaciones base.
- Elaborar una aplicación para la generación de resultados del incremento de radiación no ionizante producida por las estaciones base de telefonía celular.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

Alrededor del mundo se ha realizado investigaciones acerca de radiaciones electromagnéticas no ionizantes producidas tanto por las estaciones base de telefonía celular así como de estaciones transmisoras de radio y televisión tal es el caso de la entidad mundial OMS (Organización Mundial de la Salud), la cual ha establecido el denominado Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos para evaluar los niveles de radiación electromagnética a las cuales pueden estar expuestas los seres humanos sin que estas afecten a su salud. [4]

La Universidad Nacional de Ingeniería, a través de su Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones de Perú, lidera a nivel nacional e internacional la investigación sobre campos electromagnéticos y sus efectos en la salud humana, gracias a un extenso y profundo trabajo de campo iniciado en 1998 con el propósito de garantizar el desarrollo sostenible de las telecomunicaciones.

Como resultado de estos estudios, basados en la revisión exhaustiva de documentos internacionales y estudios realizados tanto de la OMS como de la ICNIRP se afirma que la exposición a los campos electromagnéticos de las telecomunicaciones pueden causar un incremento de temperatura en algunos órganos del cuerpo humano, sin embargo mientras el incremento de temperatura sea menos a 1°C no habrá efectos sobre la salud de las personas. Los incrementos de temperatura mayores a 1° C pueden provocar cambios de comportamiento, reduciendo la resistencia del cuerpo humano debido al calor. [5]

Víctor Manuel Puente Tristán se basa en la detección, medición y modelo matemático de la radiación ionizante producida en los televisores comerciales, en la cual crea un modelo matemático por medio del método de mínimos cuadrados de Gauss que se encarga de determinar el incremento de radiación producida por el uso de cristales termoluminiscentes en las pantallas de los televisores. [6]

La investigación de análisis de exposición de radiaciones no ionizantes, realizado por Luis Javier Castillo Heredia indica que el desconocimiento de los riesgos a los seres humanos que producen las RNI, producen una preocupación en las personas que viven en la cercanía de las antenas, por el temor de contraer una enfermedad crónica, debido a la exposición continua a las emisiones electromagnéticas. [7]

## 2.2 Fundamentación Teórica

### 2.2.1 Campos Eléctricos

Los campos eléctricos son considerados como un campo de vectores en donde se especifica un módulo y dirección de la fuerza eléctrica que actúa sobre la unidad positiva de una carga, la misma puede ser colocada en cualquier punto del espacio.

$$E = \frac{F(\text{Newton})}{q(\text{coulomb})}$$

El campo eléctrico  $E$  en un punto cualquiera puede determinarse colocando en dicho punto una carga de prueba  $q$  midiendo la magnitud y la dirección de la fuerza eléctrica que actúa sobre  $q$  y dividiendo la fuerza  $F$  por  $q$ . [8]

Las cargas producen repulsión si son de mismo signo, o de atracción si son de signo opuesto, dichos movimientos son representados en la figura 2.1.

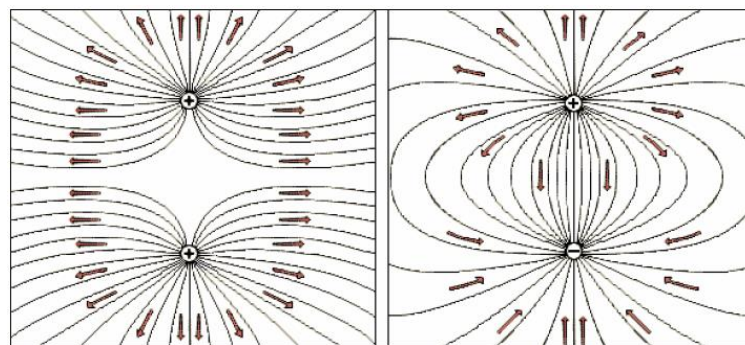


Fig. 2. 1. Representación de los Campos Eléctricos

FUENTE: Campos Electromagnéticos, Alonso Fustel., 2012.



La intensidad de un campo eléctrico depende de la tensión o diferencia de voltaje, y de la distancia con respecto al medio conductor. Así, el campo eléctrico es más intenso cuanto mayor sea la tensión, y cuanto mayor sea la proximidad al conductor que los genera y disminuye en la medida que la distancia aumenta. [9]

### 2.2.2 Campos Magnéticos

La fuerza invisible del magnetismo se refiere a un campo magnético, ese campo se extiende desde el imán en todas las direcciones como se ilustra en la figura 2.2, en esta figura las líneas que salen del imán representa el campo magnético.

Las líneas de fuerza invisibles que caracterizan el campo magnético se conocen como flujo magnético. Las líneas de fuerza en la figura representa el flujo donde las líneas de flujo son densas, el campo magnético es intenso, donde la líneas de flujo están esparcidas el campo es débil. [10]

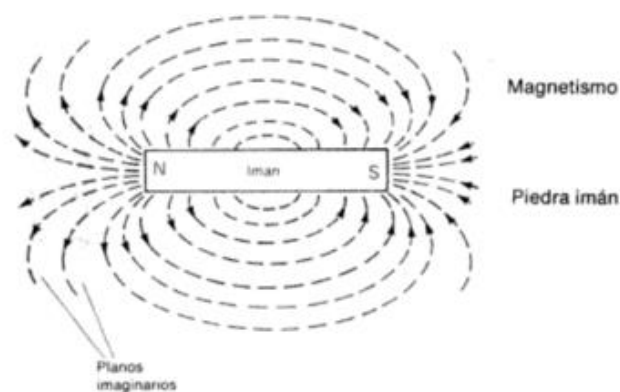


Fig. 2. 2 Representación de los Campos Magnéticos

FUENTE: Campos Electromagnéticos, Alonso Fustel., 2012

La intensidad del campo magnético aumenta en función de la intensidad de la corriente eléctrica y varía en función del consumo de energía, a diferencia de los campos eléctricos que permanecen inalterados ante idénticas modificaciones. Además la intensidad de los campos magnéticos es mayor en las proximidades de la fuente, y disminuye a medida que aumenta la distancia.

### 2.2.3 Campos Electromagnéticos

Los campos electromagnéticos son capaces de llevar energía electromagnética, ya que están formados por pequeños paquetes de energía denominados fotones, lo que produce la radiación electromagnética; además, la energía de cada fotón es directamente proporcional a la frecuencia de la onda, por lo que a mayor frecuencia, mayor energía y mayor será la radiación emitida.

Estas ondas radiadas llevan asociada una energía electromagnética que puede ser captada por una antena receptora. Sin embargo, los campos eléctrico y magnético pueden existir independientemente uno del otro. En la Figura 2.3, se muestra una onda electromagnética con sus componentes eléctricos y magnéticos, dichos componentes son planos y perpendiculares entre sí. [7]

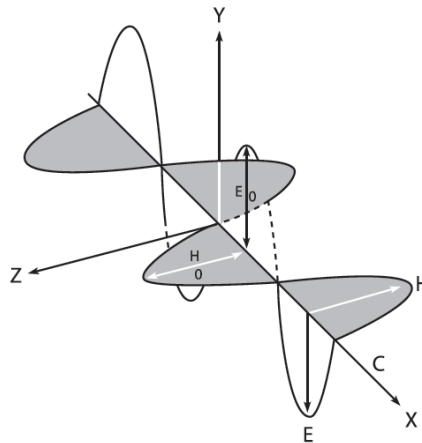


Fig. 2. 3 Representación de una onda Electromagnética

FUENTE: Campos Electromagnéticos, Alonso Fustel, 2012.

### 2.2.4 Características de los campos Electromagnéticos Radiados

Para la propagación de las ondas electromagnéticas se toma en cuenta los siguientes parámetros:

➤ Modo de propagación:

Las ondas electromagnéticas son ondas de fuerzas eléctricas y magnéticas, cuyo movimiento ondulatorio se define como la propagación de perturbaciones en un medio físico y la velocidad de la luz es igual a 299.792.458 m/s. En la figura 2.4 se representa la propagación de una onda electromagnética en el espacio.

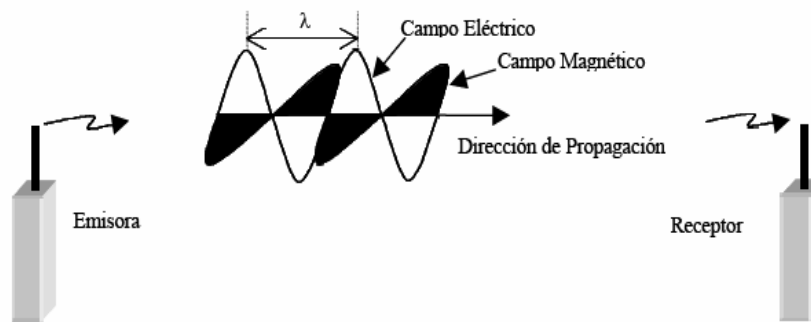


Fig. 2. 4 Propagación de ondas electromagnéticas

Fuente: Microondas Redes de Transmisión, Harvey Lehpamer, 2004

➤ Frecuencia (f):

La frecuencia se define como el número de ciclos completos por segundo del campo eléctrico y magnético en un punto dado, y se expresa en hertzios (Hz).

➤ Longitud de onda ( $\lambda$ ):

La longitud de onda es la distancia entre dos crestas máximas o mínimas de la onda. La frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de la onda forman la relación:  $v = f \lambda$ .

➤ Velocidad de propagación (c)

La velocidad de la propagación es la distancia que recorre la longitud de onda dividido por el periodo, depende del material por el cual se esté propagando la onda y de sus propiedades eléctricas de éstos, es decir, de su permitividad ( $\epsilon$ ) y permeabilidad ( $\mu$ ).

➤ La permeabilidad:

La permeabilidad expresa las interacciones con el campo magnético y se encargan de las sustancias biológicas por lo tanto es igual a la que se registra en el espacio.

➤ Intensidad de campo eléctrico y magnético:

En una onda plana, la relación entre el valor de la intensidad del campo eléctrico con la intensidad del campo magnético, que es constante, se denomina impedancia característica ( $Z$ ) =  $E/H$ .

En el espacio,  $Z = 120\pi = 377 \Omega$  pero en los restantes casos  $Z$  depende de la permitividad y permeabilidad del material a través del cual viaja la onda. La transferencia de energía se describe por el vector de Poynting, que representa la magnitud y dirección de la densidad del flujo electromagnético. [7]

### 2.2.5 Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. También se lo conoce como espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

El denominado espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. [11]

Dentro de los sistemas que funcionan por medio de los CEM en el ámbito de tipo radiado se encuentran los servicios de comunicaciones inalámbricas, radiodifusión, las comunicaciones móviles que en si sirven para dar servicios de telecomunicaciones. Este tipo de servicios tienen como característica común, en que los campos producidos se atenúan en mayor cantidad cuanto más alta es su frecuencia de trabajo, por este motivo se utilizan diferentes bandas de frecuencia en función del alcance.

El espectro electromagnético permite comprender la ubicación de las distintas señales electromagnéticas mostrando ordenadamente el tipo de radiación su longitud de onda y su respectiva frecuencia como se lo observa en la figura 2.5.

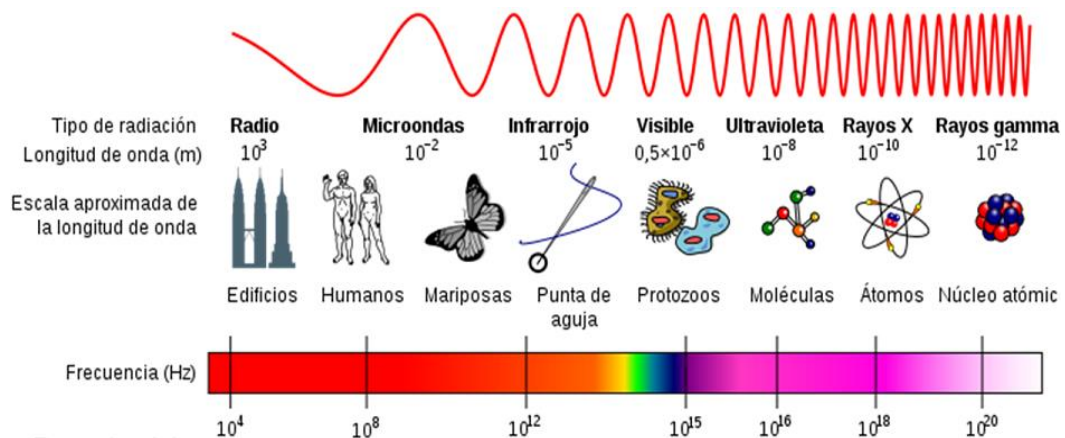


Fig. 2. 5 Espectro Electromagnético

Fuente: EM Spectrum Properties, Crates, 2006

Las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material. En la tabla 2.1 se detalla el espectro de radiofrecuencia con diferentes valores de frecuencias y designaciones específicas. [12]

Tabla 2. 1 Espectro de radiofrecuencia

Abreviatura	Significado	Frecuencias	Longitud	Designación
ELF	Frecuencia extremadamente baja	0.3 a 3 KHz	1000 a 100 Km	Megamétricas
VLF	Frecuencia muy baja	3 a 3 KHz	100 a 10 Km	Miriamétricas
LF	Frecuencia baja	30 a 300 KHz	10 a 1 Km	Kilométricas
MF	Frecuencia media	300 a 3000 KHz	1000 a 100 m	Hectométricas
HF	Frecuencia alta	3 a 30 MHz	100 a 10 m	Decamétricas
VHF	Frecuencia muy alta	30 a 300 MHz	10 a 1 m	Métricas
UHF	Frecuencia ultramente alta	300 a 3000 MHz	100 a 10 cm	Decimétricas
SHF	Frecuencia súper alta	3 a 30 GHz	10 a 1 cm	Centimétricas
EHF	Frecuencia extremadamente alta	30 a 300 GHz	10 mm a 1 mm	Milimétricas

Fuente: Sistemas de telecomunicación, Constantino Pérez Vega, 2007

### 2.2.6 Clasificación de radiaciones

La gran variedad de los CEM son generados ya sea por medio de fuentes naturales como artificiales que generan energía electromagnética en forma de ondas electromagnéticas, dichas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos de carácter oscilante, que interactúan con sistemas biológicos como células, plantas, animales o seres humanos.

Los CEM pueden clasificarse tomando el criterio de los efectos que produce sobre la materia de los seres vivos, este viene determinado por la frecuencia y la energía de la radiación electromagnética de la fuente. Por lo cual se establece dos tipos de radiaciones: Radiaciones ionizantes y no ionizantes

En proceso de ionización los electrones son desplazados de los átomos y moléculas como se aprecia en la figura 2.6, estos puede generar cambios moleculares

potencialmente capaces de dar lugar a lesiones en los tejidos biológicos, celulares internamente, incluyendo efectos en el material genético (ADN), para que este proceso tenga lugar es necesaria la interacción de fotones de muy alta energía, como los de los rayos X y rayos gamma.

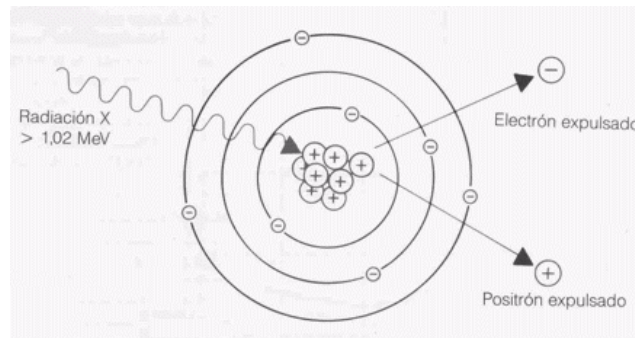


Fig. 2. 6 División de moléculas a causa de energía electromagnética

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos41/radiaciones-ionizantes/radiaciones-ionizantes2.shtml>

Las energías de los fotones asociados con las radiaciones de frecuencias más bajas, no son lo suficientemente elevadas como para causar ionización de átomos y moléculas. Es por esta razón que a los CEM de radiofrecuencia junto con la luz visible, la radiación infrarroja y las radiaciones electromagnéticas de frecuencia extremadamente baja (FEB) se les denomina radiaciones no ionizantes. La clasificación de radiaciones ionizantes y no ionizantes se aprecia en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Clasificación de radiaciones ionizantes y no ionizantes

FRECUENCIAS	DE $10^{22}Hz$ A $10^{16}Hz$	RAYOS CÓSMICOS	IONIZANTES
		RAYOS GAMMA	
		RAYOS X	
	DE $10^{16}Hz$ A $10^2Hz$	ULTRAVIOLETA	NO IONIZANTES
		LUZ VISIBLE	
		INFRARROJO	
		MICROONDAS, RADARES, FM, TV.	
		ONDAS DE RADIO	
		CAMPO ELÉCTRICOS (Alta tensión)	

Fuente: Investigador basado en [5] y [7]

## ➤ Radiaciones Ionizantes

La radiación ionizante consiste en partículas, incluidos los fotones, que causan la separación de electrones de átomos y moléculas. Pero algunos tipos de radiación de energía relativamente baja, como la luz ultravioleta, sólo puede originar ionización en determinadas circunstancias. Para distinguir estos tipos de radiación que siempre causa ionización, se establece un límite energético inferior a 10 kiloelectronvoltios.

Las radiaciones ionizantes pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de Rayos X y los aceleradores de partículas. Existen varios tipos de radiaciones emitidas por los átomos, siendo las más frecuentes: por partículas alfa, beta, rayos gamma o rayos X. [9]

Las características de cada radiación varían de un tipo a otro por su capacidad de ionización y de penetración, que en gran parte son consecuencia de su naturaleza. En la figura 2.7, se representan esquemáticamente estas radiaciones.

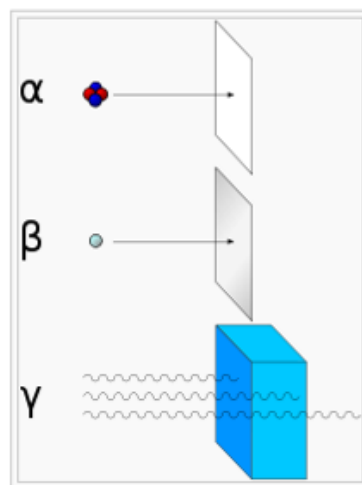


Fig. 2. 7 Representación de radiación ionizante con un fotón.

Fuente: Alfa beta gamma radiation, Crates, 2003

Cabe recalcar que las emisiones ionizantes están caracterizadas por ser de muy alta energía por lo cual son capaces de convertir una molécula en un ión. En un adulto o en un niño, la exposición a estas emisiones puede alterar irreversiblemente el material hereditario e inducir el desarrollo de cánceres o tumores.

A continuación se describen los tipos de radiaciones más importantes dentro de las radiaciones ionizantes.

- ✓ **Radiación  $\alpha$ :** Las partículas alfa emitidas por los radionucleidos naturales no son capaces de atravesar una hoja de papel o la piel humana y se frenan en unos pocos centímetros de aire.
- ✓ **Radiación  $\beta$ :** Las partículas beta son electrones. Los de energías más bajas son detenidos por la piel, pero la mayoría de los presentes en la radiación natural pueden atravesarla.
- ✓ **Radiación  $\gamma$ :** Los rayos gamma son los más penetrantes, la radiación gamma suele acompañar a la beta y a veces a la alfa. Los rayos gamma atraviesan fácilmente la piel y otras sustancias orgánicas, por lo que puede causar graves daños en órganos internos.

#### ➤ **Radiaciones no Ionizantes**

Las emisiones no ionizantes, con independencia de cuál sea su potencia, carecen de energía adecuada para ionizar la materia, por lo que no afectan directamente a la estructura atómica y molecular de los tejidos vivos. Es decir este no tiene la capacidad ionizar átomos o moléculas.

En el rango de las radiofrecuencias y microondas, la principal manifestación de las emisiones no ionizantes en tejidos vivos es el efecto térmico, aumento de la temperatura, que será de mayor o menor intensidad según la absorción del tejido, o material, a las diferentes frecuencias como en el caso del horno microondas en el ámbito doméstico, o de los terminales de telefonía móvil. A frecuencias más bajas, como la frecuencia industrial típica de las líneas de transporte eléctrico o de los electrodomésticos, las emisiones no ionizantes pueden provocar efectos no térmicos. [9]

#### ✓ **Tipos de las radiaciones no ionizantes de acuerdo a sus frecuencias**

Se distingue distintos grupos de fuentes de exposición de los campos electromagnéticos.

Los campos electromagnéticos se pueden distinguir en primer lugar en aquellos generados por las líneas de corriente eléctrica o por campos eléctricos estáticos. En segundo lugar, las ondas de radiofrecuencia utilizadas por las emisoras de radio, y en



tercer lugar las microondas utilizadas en electrodomésticos y en el área de las telecomunicaciones.

En la tabla 2.3 se presenta los valores de las frecuencias y en donde son utilizados cada uno de estos.

Tabla 2. 3 Frecuencias y los componentes que las producen

<b>FRECUENCIA</b>	<b>USOS</b>
0 Hz a 3 kHz	Trenes de levitación magnética, sistemas de resonancia magnética para diagnóstico médico y los sistemas electrolíticos en aplicación industrial experimental.
30 Hz a 300 Hz	Equipos relacionados con la generación, transporte o utilización de la energía eléctrica de 60 Hz, líneas de alta y media tensión y aparatos electrodomésticos.
300 Hz a 3 KHz	Cocinas de inducción, antenas de radiodifusión modulada y equipos de soldadura de arco.
3kHz a 30 kHz	Antenas de radionavegación y radiodifusión modulada, monitores de ordenador, sistemas antirrobo.
30 kHz a 300 kHz	Pantallas y monitores, antenas de radiodifusión, comunicaciones marinas y aeronáuticas, radiolocalización.
300 KHz a 3 MHz	Radioteléfonos marinos, radiodifusión AM, termos selladores.
3 MHz a 30 MHz	Antenas de radioaficionados, termo selladoras, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo.
30 MHz a 300 MHz	Antenas de radiodifusión, frecuencia modulada, antenas de estaciones de televisión, sistemas antirrobo.
300 MHz a 3 GHz	Teléfonos móviles, antenas de estaciones base de telefonía móvil, hornos de microondas, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo.
3 GHz a 30 GHz	Antenas de comunicaciones vía satélite, radares, enlaces por microondas.
30 GHz a 300 GHz	Antenas de radionavegación, radares, antenas de radiodifusión.

Fuente: Investigadora basado en [10] y [11]

### 2.2.7 Redes de telecomunicaciones móviles

Las redes de telecomunicaciones móviles se refiere a cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento, o en reposo pero en distintas localizaciones, pudiendo el otro ser un terminal fijo, tal como una estación base.

Las redes de telecomunicaciones móviles tiene por objetivo proporcionar un canal de comunicación entre distintos usuarios, mediante el uso de terminales dentro de un área definida pudiendo mantener una comunicación continua y con la posibilidad de moverse a velocidades relativamente grandes para lo cual utilizan la radiofrecuencia.

Los primeros sistemas de telefonía móvil aparecen a principio de los años 80 y eran análogos que trabajaban con las bandas de frecuencias de 450, 800 y 900MHz. Luego en los años 90 aparecen los sistemas digitales, que operan en frecuencias más altas, en las bandas de 1800, 1900 MHz, empleando diferentes técnicas de modulación.

La mayoría de los sistemas instalados en el país son de tercera generación el denominado Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), en la actualidad se está desplegando en el país una nueva tecnología la cual se denomina LTE (Long Term Evolution) o más conocida 4G. A continuación en la figura 2.8 se muestra un esquema de Red de comunicaciones Móviles. [13]

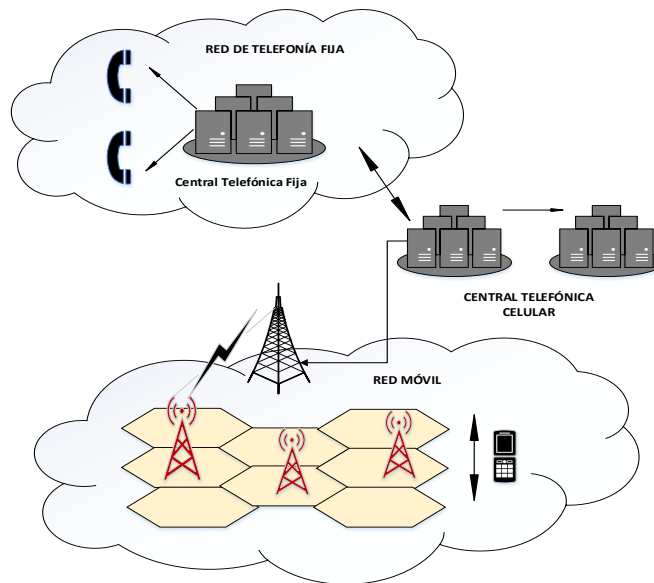


Fig. 2. 8 Esquema de Red de comunicaciones móviles

Fuente: Investigadora basado en [13] y [14]

## ➤ Características de redes de telefonía móvil

La telefonía móvil terrestre utiliza estaciones terrestres. Éstas se encargan de monitorizar la posición de cada terminal encendido, pasar el control de una llamada en curso a otra estación. Estas redes se han extendido no solo en tecnología sino en alcanzar grandes zonas de coberturas por los cual es importante mencionar sus principales características:

### • Celdas

Una celda se puede definir como el área que cubre un transmisor o una colección de transmisores. El tamaño de las celdas estará determinado por la potencia del transmisor y restricciones naturales y/o artificiales impuestas por cada sector a cubrir. Las celdas son normalmente diseñadas como hexágonos, en una gran rejilla de hexágonos y cada celda tiene una estación base.

La ubicación en celdas permite la reutilización de frecuencias con lo cual miles de personas pueden usar los teléfonos al mismo tiempo, y evidenciando la efectividad del uso del espectro.

La sectorización de las celdas permite un pequeño incremento en la capacidad de evitar perdida de señal por espacio libre, debido a que la ganancia de las antenas sectoriales incrementa el rango de cobertura. Las celdas sectorizadas se ilustra en la figura 2.9.

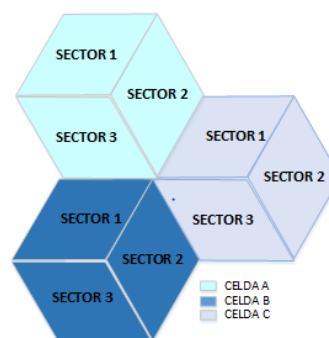


Fig. 2. 9 Celdas sectorizadas

Fuente: Investigadora

### • Los sistemas de control y conmutación de las estaciones base.

Los sistemas de control y conmutación de las estaciones base se encargan del control de cada una de las llamadas, es decir controlan la conmutación de la conexión entre

distintas estaciones base, de forma que la movilidad del usuario sea gestionada de forma transparente a éste.

- **Las base de datos para la gestión de la movilidad.**

Las bases de datos para la gestión de la movilidad permiten la localización de los usuarios en la red móvil, así como el mantenimiento y distribución de la información del perfil correspondiente a cada uno (incluyendo aspectos de autenticación y tarificación).

- **Teléfono móvil o terminal portátil:**

Los teléfonos móviles funcionan mediante un microprocesador de señales pueden comprimir y descomprimir señales digitales codificadas. Los terminales pueden ser de distinta generación en función de la tecnología sea analógica o digital, con diferentes tipos de aplicaciones como multimedia, imágenes, navegación en internet, etc.

- **Estaciones base**

Las estaciones base son instalaciones fijas que se interconectan con los teléfonos móviles mediante ondas electromagnéticas de radiofrecuencia y son los encargados de gestionar las comunicaciones móviles que se generan en su zona de cobertura y enlazarlas con el resto del sistema, permitiendo el acceso de los usuarios a la red telefónica. Existen dos tipos de estaciones base y se las detalla a continuación:

**Estación base urbana:**

Se usa una estación urbana porque en entornos urbanos existe una elevada concentración de usuarios por lo cual es necesario aumentar el número de estaciones base con el fin de tener capacidad suficiente para dar servicio a todos los usuarios. Normalmente están situadas en las azoteas de los edificios, con coberturas típicas de aproximadamente 1km.

**Estación base rural:**

En un entorno rural es inferior el número de obstáculos y su distribución es más dispersa, por lo que la señal emitida por una estación base se propaga de forma más favorable. Es por ello que en zonas alejadas de las ciudades, los emplazamientos proporcionan cobertura a regiones más amplias de terreno, permitiendo la mayor

separación entre estaciones base. Las estaciones base rurales utilizan como soporte torres con una altura entre 20 y 50 metros situadas en las afueras de los núcleos urbanos o en las proximidades de carreteras, con coberturas típicas de 10 km hasta 30 Km. [15]

- **Componentes internos y externos de una estación base**

Las estaciones base son las estaciones radioeléctricas de las redes de comunicaciones, consta de una torre soporte con antenas, un controlador de canal y un centro de conmutación y la potencia de una estación base varía entre 10 y 50 vatios en función del área que cubre y el número de llamadas procesadas. En la Figura 2.10, está el esquema general de la instalación de una estación base.

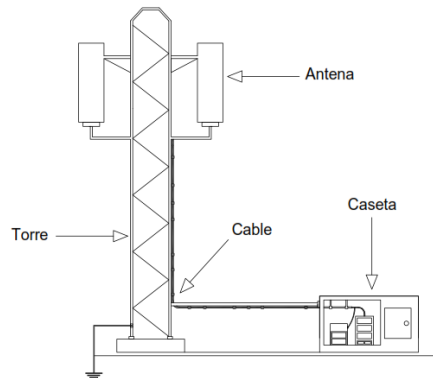


Fig. 2. 10 Instalación de antena en una estación base y el enlace con la central móvil

Fuente: Investigador basado en [7] y [9]

Además en la Figura 2.11., se detalla cada uno de los componentes internos de una habitual instalación de una estación base.

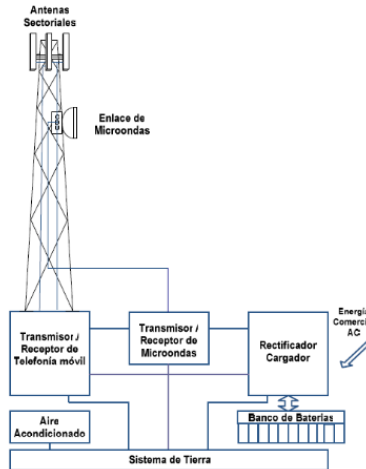


Fig. 2. 11 Componentes internos de la instalación de una estación base

Fuente: Investigador basado en [8] y [9]

- **Antenas**

Las antenas que producen la radiación de RF, son montadas sobre torres, postes o en forma distribuida en las paredes de la parte más alta de los edificios, pues necesitan estar a cierta altura para brindar cobertura más amplia. Además en cada torre es frecuente observar antenas de diferentes tipos, que proporcionan la posibilidad de transmisión.

Cada antena cubre una zona determinada, envía y recibe ondas electromagnéticas de todos los teléfonos móviles que se desplazan por su zona, para luego transmitir la señal a través de antenas de radioenlace o de banda ancha, y poderse comunicarse con otras estaciones base. [9]

- **Parámetros fundamentales de las Antenas**

Una antena es una parte fundamental en el funcionamiento del sistema de telecomunicaciones, por lo cual se debe tomar en cuenta una serie de parámetros que defina y describan el efecto del mismo dentro del sistema de una determinada antena.

- ✓ **Intensidad de radiación**

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, concentrar la energía radiada en ciertas partes del espacio. Por tanto se define intensidad de radiación como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$U = |\vec{S}_{av}| \cdot r^2$$
$$U = \text{Re} (\vec{E} \otimes \vec{H}^*) \cdot r^2$$

Donde:

$S_{av}$  : Densidad de potencia

$U$ : Intensidad de radiación

- ✓ **Potencia Radiada**

La densidad de potencia radiada se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección, se calcula integrando la intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio como lo muestra la siguiente ecuación su unidad es vatios por metro cuadrado.

$$P_{rad} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U \cdot \sin(\theta) \cdot d\theta \cdot d\phi$$

### ✓ Impedancia

La antena se conecta en el transmisor y radia el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas en ella. Siempre el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de ondas, se debe considerar su impedancia característica, su atenuación y longitud.

La impedancia de entrada es la impedancia que presenta la antena en sus terminales de entrada como se muestra en la figura 2.12.

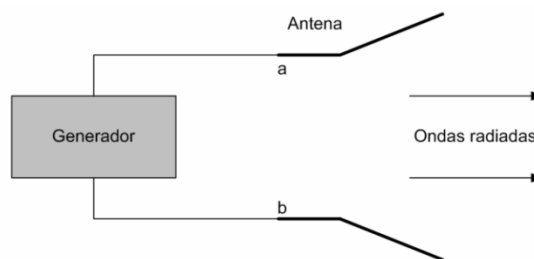


Fig. 2. 12 Impedancia de entrada de una antena

Fuente: Investigador basado en [7]

La Impedancia de entrada se define con la ecuación mostrada a continuación.

$$Z_A = R_A + iX_A$$

$$R_A = R_L + R_r$$

Donde:

$Z_A$ : Impedancia de la antena entre los terminales a-b

$R_A$ : Resistencia de la antena entre los terminales a-b

$X_A$ : Reactancia de la antena entre los terminales a-b

$R_L$ : Resistencia de pérdidas

$R_r$ : Resistencia de irradiación.

### ✓ Eficiencia

La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia entregada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o eficiencia de la antena  $\eta_1$ , mediante la relación entre la potencia radiada y la entregada, o el equivalente

entre la resistencia de entrada de esa antena, y se la presenta con la relación en la siguiente ecuación.

$$\eta_1 = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega}$$

Donde:

$R_r$ : Resistencia de entrada en el caso ideal

$R_\Omega$ : Resistencia óhmica

### ✓ Polarización

La polarización de una onda radiada ilustrada en la figura 2.13, se define como la propiedad de una onda electromagnética que relaciona la magnitud relativa del vector campo eléctrico con respecto a la dirección variante como el tiempo.

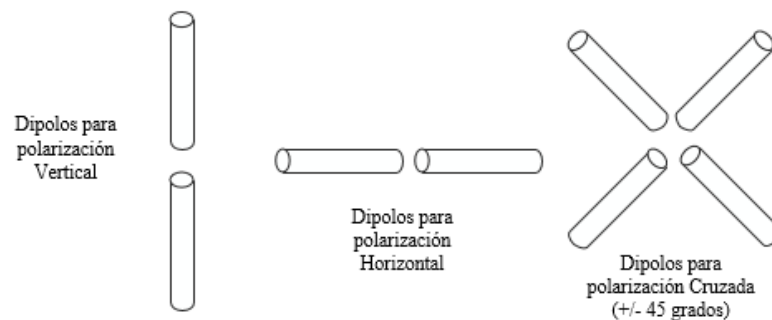


Fig. 2. 13 Polarización de Antenas

Fuente: Investigador basado en [10]

### ✓ Directividad

La directividad es la capacidad de concentrar la radiación en una dirección determinada. Así, la directividad  $D$  de una antena es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropica, que radiase la misma potencia que la antena, esta relación se muestra a continuación.

$$D = \frac{4\pi \cdot U}{P_{rad}}$$



### ✓ **Ganancia**

La ganancia de una antena describe que tanta potencia se transmite en la dirección de mayor radiación. La ganancia está definida como la relación de potencia entre emisor y el receptor, es usualmente expresada en decibeles y abreviada “dB” La definición de decibeles es:

$$\text{dB} = 10 \log \left( \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

Donde:

$P_{\text{out}}$  : es la potencia comparada con la potencia de referencia  $P_{\text{in}}$ .

La ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena, se denota así:

$$G = D \cdot \eta_1$$

### ✓ **Área y longitud efectivas**

El área efectiva se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena. La antena debe estar adaptada a la carga, de forma que la potencia transferida sea la máxima. La onda recibida debe estar adaptada en polarización a la antena.

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_i}$$

Donde:

$W_r$ : Potencia disponible en los terminales del receptor.

La longitud efectiva de una antena linealmente polarizada se define como la relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma. [16]

$$l_{ef} = \frac{V_{ac}}{E_i}$$

Donde:

$V_{ac}$ : Voltaje en circuito abierto de la antena

$E_i$ : Intensidad de Campo incidente

- **Características de Antenas de las Estaciones Base**

Las estaciones base utilizan antenas omnidireccionales y sectoriales para la comunicación con los teléfonos móviles, pero en algunos casos se realiza enlaces por fibra óptica y se utilizan antenas parabólicas para el radioenlace que transporta la información entre la estación base y la central de telecomunicaciones móviles.

- ✓ **Regiones de campo radiado por una antena**

Existen tres regiones, bien diferenciadas alrededor de una antena cuando está radiando energía electromagnética.

**Zona de Rebasamiento**

En la zona de rebasamiento se debe restringir el acceso a operarios de la estación y al público en general, mediante barreras físicas, procedimientos de cierre y señalización adecuada.

**Campo cercano:**

El campo cercano es la zona del espacio en la proximidad de la antena transmisora. En esta zona los campos eléctricos y magnéticos varían considerablemente alrededor de la antena. Su relación es bastante compleja, por lo que el cálculo directo entre componentes no es posible.

**Campo lejano:**

El campo lejano es la región alejada de la antena donde la distribución angular de los campos es independiente de la distancia. El campo electromagnético radiado tiene un carácter de onda plana y los campos eléctricos y magnéticos son ortogonales entre sí, relacionándose de forma sencilla a través de la impedancia del **medio**:

$$\vec{E} = \vec{H} \cdot Z_0$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{E}}{Z_0}$$

Siendo  $Z_0 = 120\pi$ , para el aire.

El límite (R) entre regiones de campo cercano y lejano está en función de la frecuencia y se aprecian en la figura 2.14. La energía electromagnética atraviesa de forma gradual el límite entre ambas regiones, siendo difícil definir un punto concreto del espacio.

Desde el punto de vista práctico, a la hora de realizar las medidas, se realiza la siguiente aproximación:

- Si la zona a validar se encuentra a una distancia mayor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo lejano cuando  $R > 3\lambda$
- Si la zona a validar se encuentra a una distancia menor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo cercano cuando  $R \leq 3\lambda$ . [17]

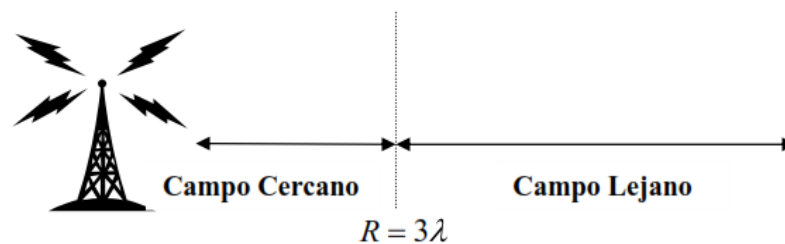


Fig. 2. 14 Regiones de campo radiados

Fuente: [http://www.upv.es/antenas/Tema\\_1/diagramas\\_de\\_radiacion.html](http://www.upv.es/antenas/Tema_1/diagramas_de_radiacion.html)

- **Tipos de antenas**

Las antenas de las estaciones base de telefonía móvil son estrechas y de 1 metro de longitud aproximadamente. Las antenas emiten un rayo de RF de forma horizontal y muy estrecho casi como el de un foco de luz, que es aproximadamente paralelo al suelo.

- ✓ **Las antenas omnidireccionales**

Las antenas omnidireccionales sirven para cubrir un ángulo de azimut de 360 ° la cual se observa en la figura 2.15 y normalmente se utilizan en la etapa inicial de la expansión de la estación base o en zonas rurales.

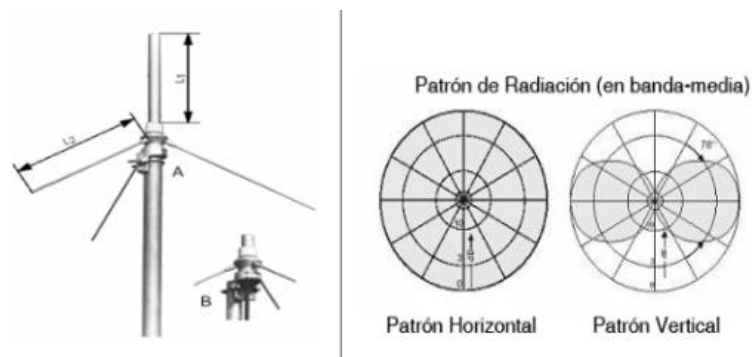


Fig. 2. 15 Antena omnidireccional y sus patrones de radiación

Fuente: Investigadora basado en [9]

### ✓ Las antenas sectoriales

La antena sectorial concentra sus emisiones hacia el frente y en horizontal, en forma de un haz sensiblemente plano, y abarca un sector entre 60 y 120 grados, en la figura 2.16 se muestra la forma física y sus patrones de radiación de una antena sectorial. Las emisiones son casi inexistentes en el resto de direcciones (atrás, abajo y arriba), y sirven para expandir la cobertura de abonados de la estación base.

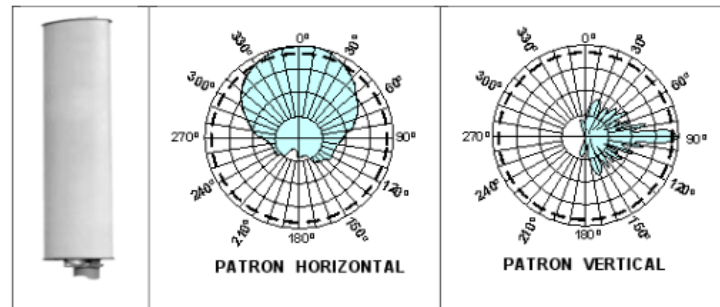


Fig. 2. 16 Antena sectorial y sus patrones de radiación

Fuente: Investigadora basado en [16]

### ✓ Polarización Horizontal y Vertical

Los dipolos de los dos sistemas de antenas son polarizados de forma horizontal y vertical. No se requiere una separación espacial porque los dipolos vienen con polarizaciones diferentes pueden ser instalados en una estructura común, dichas polarización se visualizan en la figura 2.17.

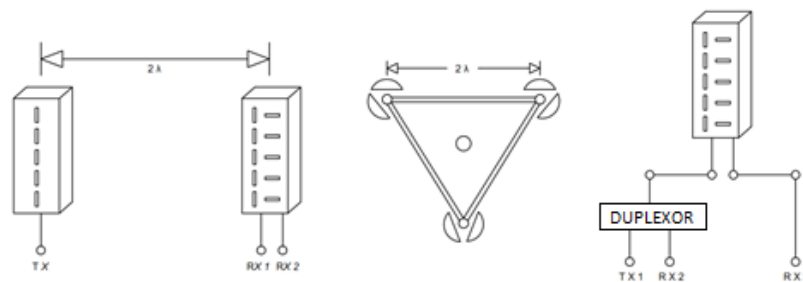


Fig. 2. 17 Antenas sectorizadas con Recepción de Diversidad de polarización.

Fuente: Investigadora basado en [9]

Las antenas de polarización horizontal y vertical, permiten el aislamiento en el orden de 30 dB entre el sistema polarizado horizontalmente y el sistema polarizado verticalmente y necesitan dos antenas por sector distanciadas 2 longitudes de onda, una para transmisión y otra para recepción con polarización horizontal y vertical, pudiendo

reducirse a una sola unidad mediante la utilización de un duplexor para transmitir y recibir simultáneamente con la antena vertical y una antena con polarización horizontal para recepción en diversidad.

### ✓ Forma del haz de Antena

Las radio señales desarrolladas por las estaciones base son alimentadas a las antenas, las cuales producen haces que son radiados en la celda alrededor de la estación base. El perfil de los haces se desarrolla para producir una cobertura óptima de la celda. La formación del rayo se ilustra en la Figura 2.18.

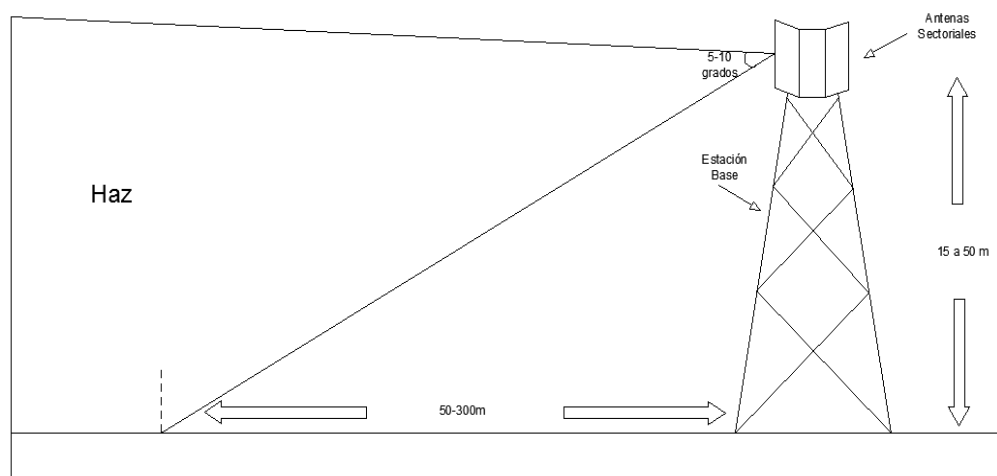


Fig. 2. 18 Forma de haz de una antena típica utilizada en estación base

Fuente: Investigadora basado en [16]

Cuando se consideran las alturas a las cuales las antenas son montadas, esto implica que el haz principal desde la antena de la base se espera que llegue a tierra típicamente entre 50 y 300m, desde el pie y el mástil. Las antenas usadas en estaciones base microcelulares tienen haces mucho más anchos en el plano de elevación porque tratan de comunicarse sobre distancias mucho más cortas.

### ✓ Inclinación del Haz

La propagación ideal entre celdas de una red implica la estricta limitación del área de cobertura de cada celda para evitar interferencias entre ellas, por un lado es necesario darle al haz de la antena una inclinación vertical hacia abajo que puede lograrse mecánicamente como se puede apreciar en la figura 2.19 o también eléctricamente mediante el ajuste adecuado de las fases de la señal en las antenas como se observa en la figura 2.20. [18]

### - Downtilt Mecánico

El downtilt mecánico es el ángulo de inclinación que se encarga de variar el patrón de cobertura de la antena, en este caso la antena se inclina manualmente con el ángulo deseado como se muestra en la figura 2.22., en la práctica la inclinación típica varía de 3° a 15°.

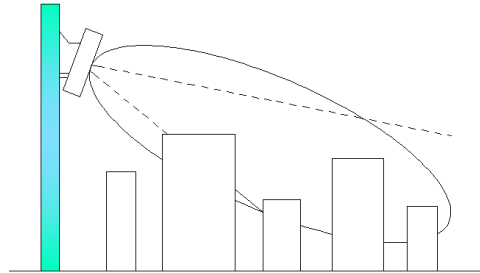


Fig. 2. 19 Downtilt Mecánico

Fuente: Investigadora basado en [18]

### - Downtilt Eléctrico:

El downtilt eléctrico es el ángulo de inclinación que hace que varíe el patrón de cobertura de la antena y esta es ajustada de fábrica con el haz inclinado con un ángulo estándar que puede ser de 3°,6°,9°,12°.

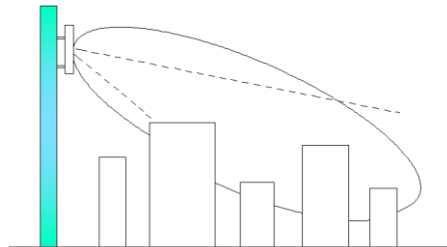


Fig. 2. 20. Downtilt Eléctrico

Fuente: Investigadora basado en [18]

## 2.3 Organizaciones protectoras contra Radiaciones no Ionizantes

### 2.3.1 Organización Mundial de la Salud (OMS)

La organización mundial de la salud es el organismo encargado de orientar y coordinar los estudios científicos, estadísticos y epidemiológicos sobre todo lo relacionado a la protección de la salud y el medio ambiente, generados por centros de investigaciones e instituciones científicas en el mundo, usando esta base para emitir recomendaciones que aseguren que la exposición humana a los campos

electromagnéticos no tenga efectos perjudiciales para la salud y que los equipos generadores de esos tampoco lo sean.

La OMS basa sus recomendaciones en los estudios realizados por ellos y por los otorgados por la ICNIRP. Además OMS cuenta con el Proyecto denominado Campos Electromagnéticos, que tiene el objeto de unir los esfuerzos de las instituciones científicas y centros de investigación claves a nivel internacional, para identificar y llenar los huecos que presenta el conocimiento científico en cuanto a los riesgos para la salud debidos a la exposición a las emisiones electromagnéticas.

### **2.3.2 Comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (ICNIRP)**

La ICNIRP es un grupo independiente de expertos que evalúan el estado del conocimiento acerca de los efectos de la RNI en la salud y el bienestar humano para proporcionar información sobre protección contra la radiación no ionizante. Las recomendaciones de exposición desarrolladas por ICNIRP están orientadas a proteger a las personas de los efectos negativos a la exposición a las RNI.

Los científicos que conforman la ICNIRP, son estudiosos de áreas muy variadas de la ciencia entre las que se incluyen dermatología, oftalmología, epidemiología, biología, fisiología, física, ingeniería eléctrica y dosimetría.

La ICNIRP trabaja en conjunto con otras organizaciones para llevar a cabo su investigación: la Organización Mundial de la Salud, la Asociación Internacional de Protección de Radiaciones (IRPA), el Consejo Nacional Estadounidense para Protección de Radiaciones (NCRP), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la Comisión Internacional de Iluminación, la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC), entre otros.

### **2.3.3 Recomendaciones de la UIT**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), es el organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. La normativa generada por la UIT está contenida en un amplio conjunto de documentos denominados recomendaciones, agrupados por series. Cada serie está

compuesta por las recomendaciones correspondientes a un mismo tema, por ejemplo Tarificación, Mantenimiento, etc.

Además ayuda a determinar el cumplimiento de los límites de seguridad para la exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos de las instalaciones de equipos de telecomunicaciones y terminales móviles u otros dispositivos emisores usados cerca del cuerpo. Está compuesta por tres sectores:

- UIT-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones
- UIT-R: Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones
- UIT-D: Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT

#### ➤ **ITU-T K.52**

La ITU-T K.52 es una recomendación que se refiere a la orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, la finalidad de la ITU-T K.52 es facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad de las instalaciones de telecomunicación y de los teléfonos móviles u otros dispositivos que emiten radiaciones y que se utilizan muy próximos a la cabeza, cuando existe exposición de las personas a campos electromagnéticos.

Esta recomendación presenta un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones de las estaciones base. El procedimiento de evaluación referido a los límites de seguridad proporcionado por ICNIRP ayuda a los usuarios a determinar la probabilidad de que las instalaciones sean confortable basándose en criterios de accesibilidad propiedades de las antenas y la potencia del emisor.

Para la exposición simultánea a fuentes a diferentes frecuencias, el cumplimiento de los límites de exposición se evalúa utilizando las ecuaciones que siguen. Se deben satisfacer todas las condiciones para las gamas de frecuencias a las que operan las antenas:

$$\sum_{i=100KHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \leq 1$$
$$\sum_{j=100KHz}^{1MHz} \left(\frac{H_j}{b}\right)^2 + \sum_{j>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \leq 1$$



$E_i$ : es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia  $i$

$E_{l,i}$  : es el límite de referencia a la frecuencia  $i$

$H_j$ : es la intensidad de campo magnético a la frecuencia  $j$

$H_{l,j}$ : es el límite de referencia a la frecuencia  $j$

$c = \frac{610}{f} V/m$ : (f en MHz) para exposición ocupacional y  $87/f^{1/2} V/m$  para exposición del público en general.

$b = 24,4 A/m$ : para exposición ocupacional y  $5 A/m$  para exposición del público en general.

### **2.3.4 Espectro radioeléctrico en Ecuador**

El espectro radioeléctrico en Ecuador es controlado por la ARCOTEL entidad que se encarga en el país de controlar a las operadoras de telefonía celular. De acuerdo con la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada el 13 de marzo de 2000, se han consagrado reformas importantes a la Constitución Política del Estado, en lo referente a la coordinación de las operadoras que prestan servicio de telecomunicaciones.

En Ecuador se considera que el espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal considerado un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control le corresponde al Estado.

En el año 2005 CONATEL emite la resolución 01-01-CONATEL-2005 que corresponde al documento “Reglamento de Protección de Radiaciones no Ionizantes”, Con el fin de, controlar y establecer los límites de exposición de emisiones RNI, de las instalaciones de telecomunicaciones en Ecuador. En este documento se establece los límites y métodos de evaluación de las RNI para que sea considerado y corresponde a la recomendación de UIT-T K.52 la cual aplica para la exposición poblacional como la ocupacional.

Además cabe recalcar que desde el 18 de febrero del 2015 se fusionaron la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) y Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) conformando la Agencia de Regulación y Control de las

Telecomunicaciones (ARCOTEL), fortaleciendo la estructura institucional y los procesos de regulación y control. De esta atribución, los servicios más relevantes que son controlados por ARCOTEL son los que se muestra en la figura 2.21.

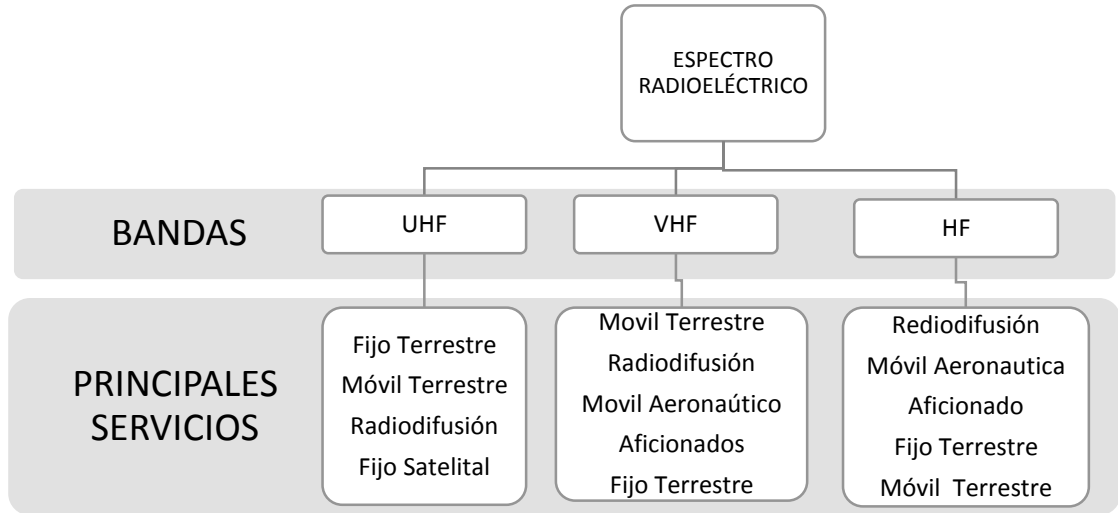


Fig. 2. 21 Servicios Controlador por Arcotel

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

### ➤ Límites de exposición en Ecuador

Arcotel efectúa el control del cumplimiento de los límites máximos de exposición a emisiones electromagnéticas generadas por el uso del espectro radioeléctrico y los cuales se especifican en la tabla 2.4 de acuerdo a la Recomendación UIT-T K.52.

Tabla 2. 4 Límites de exposición

Frecuencia	Densidad de potencia de onda plana equivalente S	Intensidad de campo eléctrico E
850 MHz	4,25 W/m <sup>2</sup>	28 V/m
1900 MHz	9,5 W/m <sup>2</sup>	41 V/m

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

### ➤ Límites de exposición ocupacional

Para la población expuesta de manera ocupacional los límites son más permisivos puesto que la mayoría de personas conoce las condiciones y el riesgo que le ocasiona al estar expuestos a las radiaciones electromagnéticas. Los valores de estos límites fueron revisados en la página web de Arcotel y se los representa en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5 Límites de exposición ocupacional

Tipo de exposición	Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocupacional</b>	3 - 65 KHz	610	24,4	-
	0,065 - 1 MHz	610	1.6/ <i>f</i>	-
	1 - 10 MHz	610/ <i>f</i>	1.6/ <i>f</i>	-
	10 - 400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2000 MHz	3 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	0,008 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	<i>f</i> /40
	2 - 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

➤ **Límites de exposición poblacional**

Estos límites están dirigidos a todo el público en general, los valores se muestran en la tabla 2.6, es decir que va dirigido a personas de todas las edades y de diversos estados de salud además se incluyen a personas susceptibles a las radiaciones electromagnéticas.

Por lo general este grupo de personas desconocen que están expuestos de modo que no se espera que tomen medidas de protección adecuada para sí mismos, debido a su desconocimiento los límites de exposición son estrictos.

Tabla 2. 6 Límites de exposición ocupacional

Tipo de exposición	Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m <sup>2</sup> )
<b>Poblacional</b>	3 - 150 KHz	87	5	
	0,15 - 1 MHz	87	0,73 / <i>f</i>	
	1 - 10 MHz	87/ <i>f</i> <sup>1/2</sup>	0,73 / <i>f</i>	
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2000 MHz	1,375 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	0,0037 <i>f</i> <sup>1/2</sup>	<i>f</i> /200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

## ➤ **Operadoras de telefonía en Ecuador**

El país con el paso de años y el desarrollo de tecnologías de telecomunicaciones ha firmado concesiones con operadoras que se encargan de prestar servicios de telecomunicaciones móviles. Las operadoras que en la actualidad brindan estos servicios son OTECEL S.A, CONECEL S.A., y CNT EP. A continuación se detalla un breve resumen de la evaluación de cada una de las operadoras que funcionan en el país.

### • **CONECEL S.A**

Conecel apareció en 1993 como la primera operadora celular del país, en un momento en que la telefonía móvil era un lujo como lo son actualmente la tv de alta definición o los plasma de 60". Comenzó como una empresa con participación accionaria nacional, relacionada por ejemplo con el Banco Amazonas.

Actualmente es parte de América Móvil, grupo de compañías celulares en toda Latinoamérica con marcas como llamadas Claro (en varios países latinoamericanos) Comcel en Colombia y Telcel en México; las cuales son propiedad del magnate mexicano Carlos Slim Helú, quien es después de Bill Gates es el segundo hombre más rico del mundo. En marzo del 2011 dejó de llamarse Porta y fusionó las operaciones de esta empresa celular con las de Telmex (Ecuadortelem).

Claro tiene las áreas mayores áreas geográficas ocupadas en el país, con antenas en gran cantidad de ciudades, pueblos y carreteras así como mayor potencia en áreas urbanas. Fue el primero en llegar a todas las provincias.

Conecel funciona en la banda A, el grupo de frecuencias comprendido entre los siguientes rangos: 824 a 835 MHz, 845 a 846.5 MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 891.5 MHz. A continuación se muestra la tabla 2., el número de estaciones base por cada una de las provincias y también con su respectiva tecnología de funcionamiento.

Tabla 2. 7 Número total de estaciones base de empresa CONECEL S.A.

Estaciones base <b>CLARO</b>	<b>HASTA 01 DE JULIO DE 2015</b>			
	<b>GSM 850</b>	<b>GSM 1900</b>	<b>UMTS 850</b>	<b>UTMS 1900</b>
<b>Azuay</b>	82	39	51	0
<b>Bolívar</b>	20	9	9	0
<b>Cañar</b>	18	3	9	0
<b>Carchi</b>	26	12	10	0
<b>Chimborazo</b>	48	22	24	0
<b>Cotopaxi</b>	34	10	19	0
<b>El Oro</b>	80	55	51	0
<b>Esmeraldas</b>	74	49	41	5
<b>Galápagos</b>	9	5	3	3
<b>Guayas</b>	580	462	560	21
<b>Imbabura</b>	50	36	40	1
<b>Loja</b>	66	34	34	0
<b>Los Ríos</b>	93	55	61	0
<b>Manabí</b>	182	119	135	0
<b>Morona Santiago</b>	13	4	4	0
<b>Napo</b>	17	3	6	0
<b>Orellana</b>	25	13	19	1
<b>Pastaza</b>	9	2	4	0
<b>Pichincha</b>	446	292	472	44
<b>Santa Elena</b>	61	43	54	14
<b>Sto. Domingo de los Tsáchilas</b>	65	51	49	0
<b>Sucumbíos</b>	31	19	20	1
<b>Tungurahua</b>	48	27	35	1
<b>Zamora Chinchipe</b>	13	3	3	0
<b>TOTAL</b>	2090	1367	1713	91
<b>Total de estaciones</b>	5261			

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

Realizando la sumatoria del número total de estaciones base sin importar las tecnologías utilizadas por parte de la operadora CONECEL S.A., se obtiene un número total de 5261 estaciones bases ubicadas en todo el país.

- **OTECEL S.A**

Otecel fue la segunda empresa celular en el país, con su marca Celullar Power. En el 1998 fue adquirida por la corporación Bellsouth de Estados Unidos, y en el 2004 fue adquirida por Telefónica Móviles junto con sus “hermanas” en toda América latina.

Tabla 2. 8 Número total de estaciones base de empresa OTECEL S.A.

Estaciones base	HASTA 01 DE JULIO DE 2015				
	MOVISTAR	GSM 850	GSM 1900	UMTS 850	UTMS 1900
<b>Azuay</b>		86	50	79	0
<b>Bolívar</b>		12	1	8	0
<b>Cañar</b>		26	7	21	2
<b>Carchi</b>		16	0	10	0
<b>Chimborazo</b>		47	19	38	0
<b>Cotopaxi</b>		44	22	29	6
<b>El Oro</b>		45	13	32	5
<b>Esmeraldas</b>		37	1	29	11
<b>Galápagos</b>		6	5	0	0
<b>Guayas</b>		251	31	261	129
<b>Imbabura</b>		21	5	27	3
<b>Loja</b>		29	5	26	6
<b>Los Ríos</b>		40	0	33	3
<b>Manabí</b>		112	12	99	37
<b>Morona Santiago</b>		10	0	4	1
<b>Napo</b>		18	2	12	4
<b>Orellana</b>		19	0	11	3
<b>Pastaza</b>		9	5	8	1
<b>Pichincha</b>		402	368	511	4
<b>Santa Elena</b>		21	1	23	17
<b>Sto. Do. de Tsáchilas</b>		31	5	18	0
<b>Sucumbíos</b>		16	0	13	0
<b>Tungurahua</b>		58	35	56	3
<b>Zamora Chinchipe</b>		10	0	3	0
<b>TOTAL</b>		1366	587	1351	235
<b>Total de estaciones</b>		3539			

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

Otecel tiene cobertura en muchas ciudades, pueblos y carreteras. La operadora usa CDMA que solo llega a los sitios más importantes del país, aunque su señal es más potente. GSM cubre a más sitios y en ciertos sitios de las ciudades su señal es mala o inexistente. Otecel o más conocido como Movistar, funciona en la banda B, el grupo de frecuencias comprendido entre los siguientes rangos: 835 a 845 MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, 891.5 a 894 MHz. En la tabla 2.8, se muestra el número de estaciones base por cada una de las provincias y también con su respectiva tecnología de funcionamiento.

Realizando la sumatoria del número total de estaciones base sin importar las tecnologías utilizadas por parte de la operadora OTECEL S.A., se obtiene un número total de 3539 estaciones bases ubicadas en todo el país.

- **ALEGRO (Telecsa)**

Alegro es una empresa ecuatoriana que apareció en el año 2003 en el Gobierno de Lucio Gutiérrez, como una alternativa a los operadores tradicionales. Fue fundada en sus inicios por Swedtel de Suecia, luego por ViaAdvisors de Italia y luego por otros administradores. Sus accionistas mayoritarios fueron Andinatel y Pacifictel. Actualmente es parte de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) debido a un decreto presidencial creado para evitar la quiebra de la estatal móvil.

CNT es la primera operadora en brindar servicios con tecnología LTE en el país y por lo cual esta tecnología está siendo desplegada por el país. CNT EP, funciona en la banda C-C' de 1900 MHz. Sus rangos de operación son de 1895 a 1910 MHz y de 1975 a 1990 MHz. En la tabla 2.9 se visualiza el número de estaciones base por cada una de las provincias y también con su respectiva tecnología de funcionamiento.

Tabla 2. 9 Número total de estaciones base de empresa CNT E.P.

Estaciones base CNT E.P.	HASTA 01 DE JULIO DE 2015			
	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700
Azuay	0	41	0	0
Bolívar	0	9	0	0
Cañar	0	8	0	0
Carchi	0	13	0	0
Chimborazo	0	41	0	0
Cotopaxi	0	36	0	3
El Oro	0	31	0	0
Esmeraldas	0	35	0	0
Galápagos	0	6	0	0
Guayas	0	233	55	0
Imbabura	0	45	0	0
Loja	0	22	0	0
Los Ríos	0	21	0	0
Manabí	0	70	0	1
Morona Santiago	0	4	0	0
Napo	0	12	0	0
Orellana	0	11	0	0
Pastaza	0	7	0	0
Pichincha	0	374	58	0
Santa Elena	0	27	0	0
Sto. Domingo de los Tsáchilas	0	36	0	0
Sucumbíos	0	23	0	0
Tungurahua	0	61	0	0
Zamora Chinchipe	0	9	0	0
<b>TOTAL</b>	0	1175	113	4
<b>Total de estaciones</b>	1292			

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

Realizando la sumatoria del número total de estaciones base sin importar las tecnologías utilizadas por parte de la operadora CNT E.P., se obtiene un número total de 1292 estaciones bases ubicadas en todo el país.



Dando así un número total de estaciones base instaladas en el Ecuador de 10.092 por parte de las tres operadoras ya mencionadas. En la tabla 2.10, se muestra en incremento de líneas activas del SMA desde 2001 hasta Julio de 2015, por parte de cada una de las operadoras, de la misma manera se observa el crecimiento de la densidad de líneas activas.

Tabla 2. 10 Incremento cronológico de líneas activas.

<b>AÑO</b>	<b>CLARO</b>	<b>MOVISTAR</b>	<b>CNT E.P</b>	<b>TOTAL LINEAS ACTIVAS DEL SMA</b>	<b>DENSIDAD LINEAS ACTIVAS DEL SMA</b>
<b>2001</b>	483.982	375.170	-	859.152	6,88%
<b>2002</b>	920.878	639.983	-	1.560.861	12,33%
<b>2003</b>	1.533.015	861.342	3.804	2.398.161	18,67%
<b>2004</b>	2.317.061	1.119.757	107.356	3.544.174	27,21%
<b>2005</b>	4.088.350	1.931.630	226.352	6.246.332	47,27%
<b>2006</b>	5.636.395	2.490.002	358.653	8.485.050	63,28%
<b>2007</b>	6.907.911	2.582.436	433.275	9.923.622	72,94%
<b>2008</b>	8.156.359	3.211.922	323.967	11.692.248	84,70%
<b>2009</b>	9.291.268	3.806.432	356.900	13.454.600	96,07%
<b>2010</b>	10.470.502	4.314.599	333.730	15.118.831	104,39%
<b>2011</b>	11.057.316	4.513.874	303.368	15.874.558	107,51%
<b>2012</b>	11.757.906	5.019.686	309.271	17.086.863	110,09%
<b>2013</b>	12.030.886	5.148.308	362.560	17.541.754	111,20%
<b>2014</b>	11.772.020	5.055.645	776.892	17.604.557	109,84%
<b>Jul-15</b>	10.293.002	4.688.985	1.072.376	16.054.363	99,65%

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

La participación de mercado que posee cada una de las operadoras se observa en la figura 2.22. Claro predomina en el mercado con un 64,11% en segundo lugar se encuentra Movistar con una porción de 29,21% en el mercado y en tercer lugar se encuentra CNT con un porcentaje de 6,68% del total del mercado, mostrando su poca acogida por los usuarios. En total en el Ecuador existen 16.054.363 líneas activas de las tres operadoras y registradas en Arcotel.

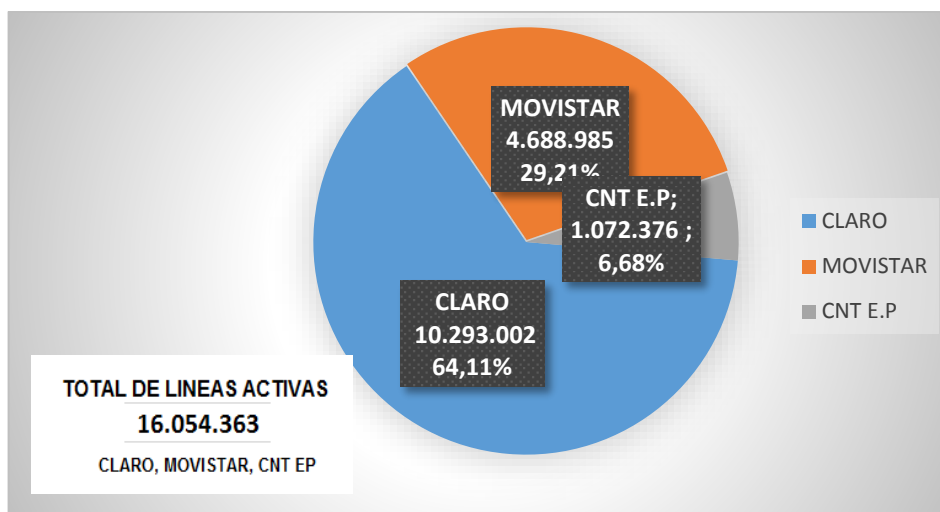


Fig. 2. 22 Participación de mercado de las distintas operadoras.

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

## 2.4 Modelo matemático

Un modelo matemático es producto de la abstracción de un sistema real, eliminando las complejidades y haciendo suposiciones pertinentes, en donde se aplica una técnica matemática y se obtiene una representación simbólica del mismo.

Además se dice que un modelo matemático es aquel que emplea fórmulas matemáticas para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

Un modelo matemático es la descripción matemática de una situación real. La rama de la matemática que se encarga de estudiar sistemáticamente las propiedades de los modelos es la teoría de modelos.

Un modelo matemático consta de dos elementos, el primero son las variables de decisión y parámetros las cuales son incógnitas que deben ser determinadas a partir de la solución del modelo, los parámetros representan los valores conocidos del sistema o bien que se pueden controlar. El segundo son las restricciones que son relaciones entre las variables de decisión y magnitudes que dan sentido a la solución del problema y las acotan a valores factibles.

En términos generales, en todo modelo matemático se puede determinar 3 fases:

- Construcción del modelo: Que es la transformación del objeto no-matemático en lenguaje matemático.
- Análisis del modelo: Se basa en el estudio del modelo matemático.
- Interpretación del análisis matemático: se aplica los resultados del estudio matemático al objeto inicial no-matemático.

#### **2.4.1 Principios de Modelamiento Matemático**

Modelación matemática es una actividad basada en principios y métodos matemáticos que se pueden aplicar a para representar cada uno de los tipos entidades que intervienen en un cierto proceso físico mediante objetos matemáticos. Los principios son sobre-arqueo o meta-principios redactados como preguntas sobre las intenciones y los propósitos de la modelación matemática.

Se realiza estas preguntas con el fin de determinar el mejor camino para resolver un problema mediante la modelación matemática.

- ¿Por qué? ¿Qué estamos buscando? Identificar la necesidad para el modelo.
- Encuentre? ¿Qué queremos saber? Enumerar los datos que estamos buscando.
- Teniendo en cuenta? ¿Qué sabemos? Identificar los datos relevantes disponibles.
- Asumir? ¿Qué podemos asumir? Identificar las circunstancias que se aplican.
- ¿Cómo? ¿Cómo debemos mirar este modelo? Identificar principios físicos.
- Predecir? ¿Qué va a predecir nuestro modelo? Identificar las ecuaciones que lo hará utilizar, los cálculos que se harán, y las respuestas que le resultado.
- Válido? ¿Son las predicciones válidas? Identificar las pruebas que se pueden hacer para validar el modelo, es decir, ¿es coherente con sus principios y supuestos?
- Verificado? ¿Son buenas las predicciones? Identificar las pruebas que se pueden hacer para verificar el modelo, es decir, es útil en términos de la razón inicial se fue hecho?

Una representación visual del enfoque para realizar un modelo matemático básico se muestra en Figura 2.23. [19]

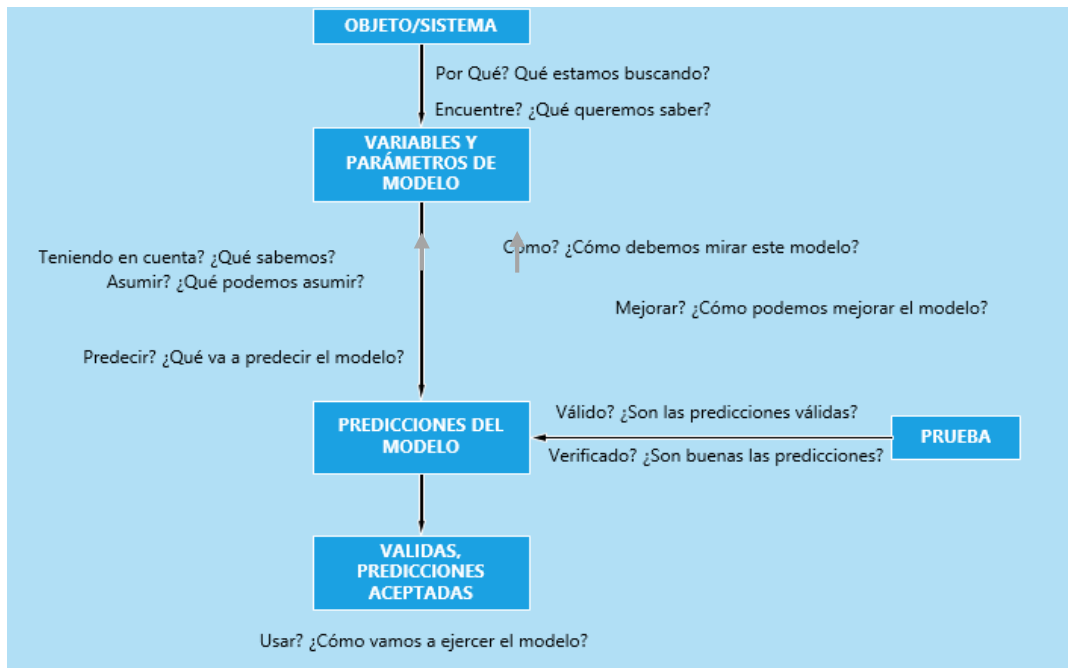


Fig. 2. 23 Creación de modelo matemático

Fuente: Investigadora basado en [19]

Un modelo matemático está basado en la lógica matemática, cuyos elementos son esencialmente variables y funciones, y las relaciones entre ellas, que vienen expresadas a través de relaciones matemáticas tales como ecuaciones, inecuaciones, operadores lógicos, que se empatan con las correspondientes relaciones del mundo real que modelado las relaciones tecnológicas, leyes físicas, restricciones del mercado, etc.

Una de las razones para obtener un modelo es la adecuación del cálculo del supuesto comportamiento de un proceso para determinadas condiciones, el cálculo depende de la aplicación. Los modelos pueden ser estáticos o dinámicos, en un modelo estático, la variable tiempo no desempeña un papel relevante, por el contrario en un modelo dinámico, ya que algunos de los elementos que intervienen en la modelación no permanecen constantes, sino que se consideran como funciones del tiempo, describiendo trayectorias temporales.

El análisis de un modelo dinámico tiene por objeto el estudio de la trayectoria temporal específica de algunos de sus elementos. Generalmente todos los modelos deterministas derivan ecuaciones diferenciales ya sean ordinarias o parciales, éstas se pueden resolver por métodos analíticos y/o métodos numéricos, ya que muchos de los problemas son prácticamente imposibles de resolver por métodos analíticos.

Los métodos numéricos se aplican a problemas de valores en la frontera o condiciones de inicio. Los métodos numéricos pueden transformar la ecuación diferencial ordinaria o parcial, que se encuentra en tiempo continuo, en una ecuación en diferencias finitas, es decir en tiempo discreto. [20]

#### **2.4.2 Clasificación de modelos matemáticos**

Un modelo de las ciencias físicas es una traducción de la realidad física de un sistema en términos matemáticos, es decir, una forma de representar cada uno de los tipos entidades que intervienen en un cierto proceso físico mediante objetos matemáticos. Las relaciones matemáticas formales entre los objetos del modelo, deben representar de alguna manera las relaciones reales existentes entre las diferentes entidades o aspectos del sistema u objeto real.

##### **➤ Modelos matemáticos según la información de entrada**

Con respecto a la función del origen de la información utilizada para construir los modelos se pueden distinguir entre modelos heurísticos y modelos empíricos:

- **Modelos Heurísticos**

Según Entwistle (1987) es un método que comprende el desarrollo de habilidades, procedimientos y procesos que ofrecen una posibilidad razonable para solucionar un problema. Orientado a la generación de conocimientos, técnicas, recursos y acciones creativas e innovadoras, proyectadas hacia la aportación de los avances científicos, tecnológicos y artísticos, para hacer frente a las cambiantes demandas del entorno laboral, social y cultural.

De esta manera se ejerce una práctica transformadora que satisface dichas demandas a través del desarrollo de la capacidad del trabajo individual y grupal, con responsabilidad social, para que el alumno aproveche el conocimiento para resolver problemas y aplicar estrategias específicas.

Así mismo se realiza diariamente para decidir el camino que se tomara para cumplir con los objetivos más próximos y sencillos de la rutina de clase. Sin aplicar un análisis en todo el proceso, de toda la información, ni mucho menos se obtiene la respuesta más óptima. El modelo está centrado en el proceso enseñanza aprendizaje y en sus actores

principales nombrados anteriormente, subrayando el rol de las percepciones y motivaciones que poseen al participar e interactuar en dichos procesos.

Es por ello, que los actores desde sus perspectivas, atribuyen significados y valor a los contenidos a aprender, a los requerimientos y exigencias académicas, que los hace desplegar estrategias particulares de enseñanza, de aprendizaje y de procedimientos de evaluación de esos aprendizajes determinados.

Se presenta a continuación las fases del modelo heurístico según Schoenfeld, que permiten estructurar de manera ordenada dicho proceso para la resolución de problemas sociales y educativos, los cuales son:

### **1. Diagramación.**

En esta fase se construye un diagrama de la situación o problema que relaciona las proposiciones del enunciado. Los diagramas a veces ayudan a ver cosas es decir nos permiten visualizar de manera óptima.

### **2. Análisis y Realización.**

El análisis hace referencia a la utilización estratégica de hechos, técnicas y destrezas dentro de un contexto pedagógico para resolver un determinado problema.

### **3. Comprobación.**

La comprobación permite verificar si la solución obtenida es pertinente al problema y si satisface las condiciones del mismo. Lo más importante, es que con la metodología empleada se generan, en primer lugar procesos de pensamientos, donde una persona en particular es un pensador activo. [21]

#### **• Modelos empíricos**

Los modelos empíricos son modelos que se basan en aproximaciones empíricas producto de la observación o experimentación y se pueden considerar como un conjunto de ecuaciones heurísticas, cada una de esas ecuaciones es usualmente la descripción estática de una relación entre el proceso considerado y las condiciones ambientales.

El aporte del modelo empírico es resultado fundamentalmente de la experiencia. Este modelo posibilita revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio accesible a la detección senso-perceptual a través de

procedimientos prácticos con el objeto y diversos medios de estudio. Su utilidad destaca en la entrada de campos inexplorados en aquellos en los que se destaca el estudio descriptivo. [22]

#### ➤ **Modelos matemáticos según la aleatoriedad**

Otra clasificación de modelos matemáticos corresponde a que funcionan según la aleatoriedad es decir, si a una entrada o situación inicial concreta pueden corresponder o no a diversas salidas o resultados, en este caso los modelos se clasifican en:

- **Modelos determinísticos.**

Los modelos determinísticos son los que hacen predicciones definidas de cantidades, dentro de cualquier distribución de probabilidades; también se les puede definir como aquellos que se aplican a problemas en los que hay un solo estado de la naturaleza, y dónde variables, limitaciones y alternativas son, después de que se aceptan los supuestos, conocidos, definibles, finitos y predecibles con confianza estadística. Algunos modelos, herramientas o técnicas determinísticas son: programación lineal, análisis de Markov, costo/beneficio, etc.

En otras palabras, un modelo determinístico se construye para una condición de certeza supuesta, y el modelo asume que solo hay un resultado posible para cada acción o curso alternativo. Además, los datos utilizados para alimentar el modelo son completamente conocidos y determinados.

- **Modelos estocásticos.**

Los modelos estocásticos contienen elementos aleatorios distribuidos dentro del modelo; de tal manera que predicen el valor previsto o una cantidad en términos de probabilidad de ocurrencia; también se les puede definir como aquellos modelos cuantitativos en los que hay más de un estado de la naturaleza y donde cada estado debe estimarse o definirse para permitir el cálculo de los resultados condicionales de cada alternativa de decisión en cada estado; cuando riesgo e incertidumbre están implicados en el problema de decisión, se emplean los modelos probabilísticas cuantitativos. [23]

#### ➤ **Modelos matemáticos según el tipo de representación.**

Los modelos matemáticos encuentran distintas denominaciones en sus diversas aplicaciones. Una posible clasificación puede atender a si pretenden hacer predicciones

de tipo cualitativo o pretende cuantificar aspectos del sistema que se está modelado, los cuales se explican a continuación:

- **Modelos cualitativos o conceptuales**

Son aquellos modelos cuya expresión y resultado no son numéricos sino únicamente descriptivos. Estos modelos no se representan mediante expresiones matemáticas o algebraicas, son generalmente modelos de comportamiento esperado, construidos a partir de la lógica y que determinan relaciones funcionales entre las variables, pero sin cuantificarlas.

Entre este tipo de modelos están los de Estímulo-Respuesta utilizados por la Psicología Clínica y la Psicología Industrial, los modelos de organización utilizados por la Administración de Empresas, los modelos motivacionales utilizados por las Ciencias de la Conducta, o los modelos de comportamiento utilizados en la Publicidad y el Mercadeo.

Los modelos cualitativos determinan, de manera general, las relaciones entre diferentes factores o componentes del sistema. Estos modelos no pretenden cuantificar dichas relaciones sino solamente facilitar el entendimiento de cómo funciona el proceso específico que nos interesa. [24]

- **Modelos cuantitativos o numéricos.**

También conocido como modelo matemático numérico, es utilizado para poder representar los diferentes aspectos del sistema modelizado; esta acción la realiza a través de números, fórmulas, algoritmos matemáticos, apoyos que sirven para poder relacionar los diferentes valores numéricos dados.

Entonces a través del uso del modelo matemático cuantitativo se puede hacer el cálculo de un proceso físico, como también se puede hallar los cambios cuantitativos del sistema modelado. Cabe destacar que este tipo de modelo matemático hace el uso de símbolos los cuales representa a números.

Cuando se termina de realizar y desarrollar un modelo cualitativo, representa a este de una manera que haga que sea entendida en la realidad, a partir de la inclusión de números y expresiones matemáticas, este proceso lo que hace es facilitar la depuración



del modelo conceptual, en el caso de que se produzca una falta de información numérica, es posible seguir tres acciones que son las siguientes:

- \* Cambiar el modelo cualitativo e incluir en este solamente los datos con los que se cuentan.
- \* Introducir valores supuesto, se basa en la experiencia personal y en referencias bibliográficas.
- \* Determinar los valores numéricos que se necesitan, a través de la realización de un estudio del problema.

Es importante saber que cuando se utiliza un modelo matemático cuantitativo, es necesario averiguar las conexiones entre distintos parámetros de producción y la comparación de estos, acerca de la actitud del sistema. [25]

### 2.4.3 Modelos matemáticos por medio de Métodos numéricos

#### ➤ Métodos indirectos

Los métodos indirectos han sido desarrollados básicamente en tres métodos para llevar a cabo la búsqueda directa unidireccional, basados en las óptimas condiciones. Estos son:

- 1.- Método de Newton
- 2.- Aproximaciones finitas al método de Newton
- 3.- Métodos de secante.

Para comparar la eficacia de cada método, es útil examinar la velocidad de convergencia de cada uno de ellos. Las velocidades de convergencia se pueden clasificar de muchas maneras, las más comunes son:

Lineal 
$$\frac{\|x^{k+1}-x^*\|}{\|x^k-x^*\|} \leq c \quad 0 \leq c \leq 1$$

Orden p 
$$\frac{\|x^{k+1}-x^*\|}{\|x^k-x^*\|^p} \leq c \quad 0 > 0; p \geq 1 \text{ (El más rápido en la práctica)}$$

Superlineal 
$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\|x^{k+1}-x^*\|}{\|x^k-x^*\|^p} \rightarrow 0 \quad \text{(Habitualmente rápido)}$$

- **Método de Newton**

El método de Newton funciona de acuerdo con la primera condición necesaria para que una función tuviera un mínimo que se debe cumplir que  $f'(x) = 0$ . Por lo tanto se puede aplicar el método de Newton a la derivada, así:

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f'(x^k)}{f''(x^k)}$$

Se asegura que en la etapa k,  $f(x^{k+1}) < f(x^k)$  para minimización. Realmente lo que hace el método de Newton es aproximar la función por una función cuadrática en  $x^k$ .

$$f(x) = f(x^k) + f'(x^k)(x - x^k) + \frac{1}{2} f''(x^k)(x - x^k)^2$$

Y dado que  $f'(x^k) = 0$ , diferenciado la ecuación anterior:

$$f'(x^k) + \frac{1}{2} 2f''(x^k)(x - x^k) = 0$$

El método de Newton es equivalente a usar un modelo cuadrático y aplicar las condiciones necesarias de resolución óptima.

La ventaja del método de Newton es que el procedimiento es cuadráticamente convergente (p=2), siempre que  $f''(x) \neq 0$ , esto para una función cuadrática el mínimo se obtiene en una única iteración.

- **Método de Newton en diferencias finitas**

Los métodos en diferencias finitas tipo Newton, se utilizan si la derivada de la función objetivo es difícil de calcular, o ésta viene dada de forma numérica. Se basan en sustituir las derivadas por aproximaciones en diferencias finitas.

- **Método de la secante**

El método de la secante toma dos puntos,  $x^p$  y  $x^q$  se resuelve una ecuación similar a la del método de Newton:

$$f'(x^k) + m(x - x^k) = 0$$

Donde m es la pendiente de la línea que conecta  $x^p$  con  $x^q$ , dada por:

$$m = \frac{f'(x^q) - f'(x^p)}{x^q - x^p}$$

El método de la secante aproxima la segunda derivada por una línea recta. Cuando  $x^q \rightarrow x^p$  el valor de  $m$  se aproximará al valor de la segunda derivada. En este sentido el método de la secante se podría considerar también un método cuasi Newton. Admitiendo que la función es unimodal, el método comienza con dos puntos cualesquiera del intervalo de tal manera que la primera derivada tenga signos diferentes. Se calcula el cero de la ecuación de partida se obtiene:

$$\tilde{x}^* = x^q - \frac{f'(x^q)(x^q - x^p)}{[f'(x^q) - f'(x^p)]}$$

Los puntos seleccionados para el paso siguiente son  $\tilde{x}^*$  y  $x^p$  ó  $x^q$  dependiendo de los signos de  $f'(x^p)$  y de  $f'(x^q)$  con respecto al de  $f'(\tilde{x}^*)$ .

➤ **Modelos matemáticos por métodos de eliminación de región.**

Los métodos de eliminación de región para una búsqueda unidimensional se basan en eliminar una región, en cada etapa, del intervalo en el que está comprendido el mínimo. Cuando la región posible es suficientemente pequeña la búsqueda termina.

El elemento básico dentro del sistema de eliminación de regiones es la comparación de valores de  $f(x)$  en dos o más puntos dentro del intervalo de  $x$ . Se debe asumir que  $f(x)$  es unimodal, y que tiene un mínimo (es convexa) dentro de  $[a, b]$ .

Si se parte de dos puntos sean  $x_1, x_2$  estos se eligen de tal manera que la búsqueda sea eficiente, si se usa un espacio igual, esto es  $x_1 - a = b - x_2 = x_2 - x_1$ , entonces este método se llama búsqueda de dos puntos a intervalos iguales.

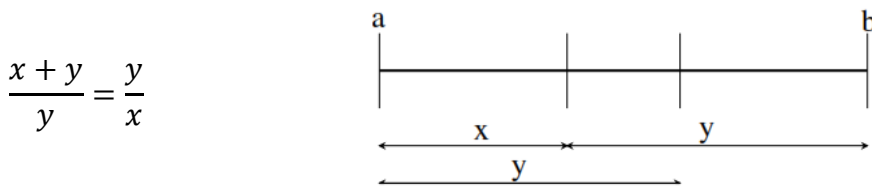
El intervalo de incertidumbre se reduce en  $1/3$  en cada iteración. Así si  $L^0$  es la longitud del intervalo original  $(b - a)$  y  $L^k$  es el intervalo después de  $k$  iteraciones, como en cada iteración se llevan a cabo dos evaluaciones de la función objetivo, entonces  $L^k$  tras  $k$  iteraciones viene dado por:

$$L^k = \left(\frac{2}{3}\right)^k L^0$$

Un método más eficiente usa  $x_1 - a = b - x_2$  pero  $x_1$  y  $x_2$  están colocados muy cerca uno del otro. Este método se llama Método de la bisección o búsqueda dicotómica. La incertidumbre del intervalo después de  $k$  iteraciones vendrá dado por:

$$L^k = \left(\frac{1}{2}\right)^k L^0$$

Sin embargo los métodos más eficientes de búsqueda por eliminación de regiones son los métodos de Fibonacci y de la 'sección áurea', los cuales usan una relación constante para dividir el intervalo en segmentos. La estrategia empleada en el método de la sección áurea es localizar dos puntos interiores del intervalo eliminado en cada iteración de tal manera que se cumpla la relación:



Además solamente una nueva evaluación se realiza en cada etapa de búsqueda. Para calcular la relación dentro del método de la sección áurea tenemos que resolver:

$$x + y = 1$$

$$\frac{1}{y} = \frac{y}{x}$$

Para un determinado intervalo  $L^k$  se aplican las fracciones  $F_S$  y  $F_B$  para calcular las distancias apropiadas. Si  $a^k$  y  $b^k$  son los extremos del intervalo en la etapa k de búsqueda los dos nuevos puntos interiores estarán localizados en

$$x_1^{k+1} = a^k + F_S L^k$$

$$x_2^{k+1} = b^k - F_S L^k$$

Donde se han llevado a cabo un total de k+1 evaluaciones de la función objetivo. [26]

➤ **Modelos matemáticos por métodos de aproximación polinómica.**

Los métodos de aproximación polinómica son métodos de minimización unidimensional localizados en un punto x cercano a  $x^*$ , el valor de la variable independiente correspondiente al mínimo de  $f(x)$ , por interpolación y extrapolación utilizando aproximaciones polinómicas a  $f(x)$ .

Estos métodos usan tanto aproximaciones cuadráticas como cúbicas usando tanto los valores de la función solamente como los de sus derivadas primeras. Se ha comprobado

que los métodos de interpolación polinómica son normalmente ligeramente mejores que el método de la sección áurea. A continuación se detallan los métodos que usan aproximación polinómica.

- **Mínimos cuadrados**

Consiste en someter el sistema a diferentes condiciones, fijando para ello distintos valores de la variable independiente  $x$ , y anotando en cada caso el correspondiente valor medido para la variable dependiente  $y$ . De este modo se dispone de una serie de puntos  $(x_1, y_1 \dots x_n, y_n)$  y que, representados gráficamente, deberían caer sobre una línea recta.

Sin embargo, los errores experimentales siempre presentes hacen que no se hallen perfectamente alineados. El método de mínimos cuadrados determina los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  de la recta o que mejor se ajuste a los datos experimentales.

Para comprender el método, hace falta recordar algunos conceptos de algebra lineal los cuales se enlista a continuación:

- ✓ **Ecuación matricial  $Ax = b$**

Un sistema de ecuaciones lineales se puede ver como una ecuación vectorial donde los coeficientes del lado izquierdo de la ecuación y las cantidades del lado derecho se consideran vectores columna y las incógnitas, los términos escalares que al multiplicarlos por los vectores del lado izquierdo de la ecuación permiten que el resultado de su suma sea igual al vector resultante. En otras palabras, se debe encontrar una combinación lineal de los vectores de la izquierda que dé como resultado el vector de la derecha.

El sistema de ecuaciones se puede escribir en términos de la multiplicación de una matriz  $A$  por un vector columna  $x$  que dé como resultado un vector  $b$  ( $Ax = b$ ). La matriz  $A$  contiene coeficientes y el vector  $x$  las incógnitas que queremos encontrar para que al ser multiplicado por la matriz  $A$  nos dé como resultado el vector  $b$ .

- ✓ **Espacio Columna**

Para entender el espacio  $c$  se dice que la expansión lineal de un conjunto de vectores en  $R^n$  es  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  será siempre un subespacio de  $R^n$ . Pues bien, las columnas de la

matriz  $A$  están formadas justamente por una serie de vectores columna cuya expansión lineal forma precisamente el espacio columna de la matriz  $A$  (ColA).

Esto implica que el espacio columna está formado por todos los vectores  $b$  para los cuales la ecuación  $Ax = b$  tiene solución. En otras palabras, el vector  $b$  debe estar en el espacio columna de  $A$  para que alguna combinación lineal de  $A$  con pesos determinados por  $x$  lo pueda generar. Si  $b$  no está en el espacio columna el sistema  $Ax = b$  es inconsistente.

### ✓ Longitud de un vector y distancia entre dos vectores

La longitud de un vector está dada por:

$$\|v\| = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}$$

En realidad la longitud está definida en términos del producto interno que se describe más abajo del cual se deriva la fórmula mostrada. Por último, la distancia entre dos vectores  $u$  y  $v$  es simplemente la longitud del vector  $u - v$ , es decir:  $dist(u, v) = \|u - v\|$ .

### ✓ Producto interno y Ortogonalidad

El producto interno permite tener una medida de qué tan alineados en sus direcciones se encuentran dos vectores. La palabra ortogonal indica perpendicularidad, es decir, el que dos vectores sean ortogonales quiere decir que están apuntando a dos direcciones tales que forman un ángulo de  $90^\circ$  entre ellos. La manera para verificar si dos vectores tienen un ángulo de  $90$  grados es verificando que el resultado de su producto interno sea  $0$ .

La primera explicación es que el producto interno se puede definir en términos del coseno del ángulo entre los dos vectores:

$$v \cdot w = \|v\| \|w\| \cos \varphi$$

Si se pudiese fijar uno de ellos e ir rotando el otro, cuando estuvieran en un ángulo de  $90^\circ$  el producto daría cero debido al coseno, en la figura 2.24 se muestra la rotación de ángulos del producto de dos vectores.

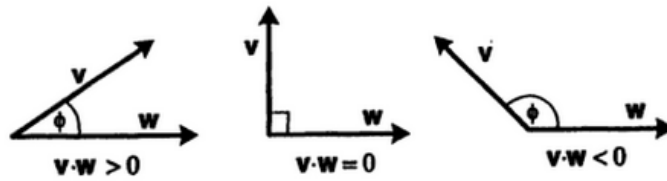


Fig. 2. 24 Rotación entre ángulos de dos vectores

Fuente: Kevin Gurney, An introduction to Neural Networks, página 112.

La segunda toma otro enfoque e indica que dos vectores  $u$  y  $v$  son perpendiculares como se indica en la figura 2.25, si únicamente si la distancia de  $u$  a  $v$  es igual a la distancia de  $u$  a  $-v$ .

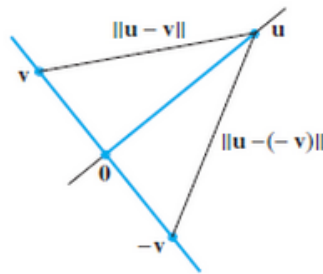


Fig. 2. 25 Perpendicularidad de vectores

Fuente: <http://www.tecnohobby.net/ppal/index.php/maticas/algebra-lineal/33-minimos-cuadrados>

El que un conjunto de vectores sea ortogonal es una cualidad deseable para ciertos propósitos ya que permite simplificar, por ejemplo: una base ortogonal es mejor que una base que no es ortogonal ya que los pesos de la combinación lineal requerida para expresar un vector  $x$  en términos de la base pueden ser obtenidos de forma directa mediante unas ecuaciones fáciles de llevar a cabo mientras que si la base no es ortogonal, hay que resolver un sistema de ecuaciones lineales.

Más aún, si la base es ortonormal, es decir, sus vectores son ortogonales entre sí y la longitud de cada uno de ellos es 1, mejor aún, los cálculos se simplifican.

El producto interno entre dos vectores está dado por la siguiente fórmula:

$$u \cdot v = u^T v = u_1 v_1 + u_2 v_2 + \dots + u_n v_n$$

### ✓ Proyecciones y Descomposición Ortogonal

Se tiene dos vectores  $u$  y  $v$ , se pueden proyectar ortogonalmente  $v$  en  $u$  encontrando algún múltiplo escalar de  $u$  ( $\alpha u$ ) donde el vector resultante  $v - \alpha u$  sea ortogonal

a  $u$ . Imagínense esto como el punto a lo largo de la línea que pasa por el origen y  $u$  donde caería la sombra si se pudiera iluminar exactamente desde arriba al vector  $v$ .

A continuación se muestra la fórmula de la proyección ortogonal de  $v$  en  $u$  y gráficamente se muestra en la figura 2.26:

$$\hat{u} = \text{proj}_u v = \frac{v \cdot u}{u \cdot u} u$$

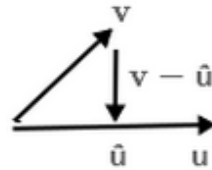


Fig. 2. 26 Proyección ortogonal de  $v$  en  $u$

Fuente: Kevin Gurney, An introduction to Neural Networks, página 115.

Al vector resultante  $\hat{u}$  se le conoce como la proyección ortogonal de  $v$  en  $u$  y el vector ortogonal a  $u$  ( $v - \hat{u}$ ) se le conoce como el componente de  $v$  ortogonal a  $u$ . La proyección anterior fue sobre el vector  $u$ , pero se puede generalizar a la línea  $L$  cubierta por  $\text{span}\{u\}$ .

La fórmula hubiese sido la misma y el resultado el mismo. Da la casualidad que el vector  $\hat{u}$ , es el único vector  $\hat{u}$  en  $L$  donde  $v - \hat{u}$  es ortogonal a  $L$  y también resulta que  $\hat{u}$  es el punto más cercano a  $v$  sobre  $L$ , es decir, que  $\|v - \hat{u}\| < \|v - x\|$  para cualquier  $x$  diferente a  $\hat{u}$  sobre  $L$ .

Lo anterior es generalizable a subespacios de más dimensiones. Si en vez de  $L$  se trabaja con un subespacio de dos dimensiones  $W$  del cual tenemos una base ortogonal formada por dos vectores  $u_1$  y  $u_2$  cuyo plano está generado por  $\text{span}\{u_1, u_2\}$ , la proyección ortogonal de  $v$  en  $W$  sería la suma de la proyección de  $v$  en  $u_1$  más la suma de la proyección de  $v$  en  $u_2$ , es decir, la suma de las proyecciones unidimensionales sobre cada uno de los componentes de la base ortogonal del subespacio:

$$\hat{u} = \text{proj}_u v = \frac{v \cdot u_1}{u_1 \cdot u_1} u_1 + \frac{v \cdot u_2}{u_2 \cdot u_2} u_2$$

En la figura 2.27 se observa las proyecciones unidimensionales de dos vectores.



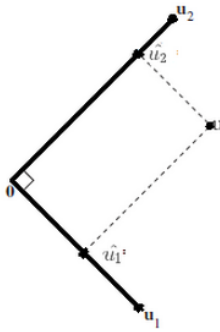


Fig. 2. 27 Proyecciones unidimensionales

Fuente: Kevin Gurney, An introduction to Neural Networks, página 116.

Como se puede apreciar, la fórmula es la misma que la usada para la proyección de  $v$  en  $L$  pero añadiendo las demás dimensiones que aporta cada uno de los componentes de la base. Igual que con la proyección de  $v$  sobre  $L$ , aquí se sigue cumpliendo que  $\hat{u}$  es el único vector donde  $v - \hat{u}$  es ortogonal a  $W$  y es el vector más cercano a  $v$  en  $W$ , es decir,  $\|v - \hat{u}\| < \|v - x\|$  para cualquier  $x$  en  $W$  diferente a  $\hat{u}$ .

En general, para  $n$  dimensiones, la proyección está dada por:

$$\hat{u} = \text{proj}_W v = \frac{v \cdot u_1}{u_1 \cdot u_1} u_1 + \frac{v \cdot u_2}{u_2 \cdot u_2} u_2 + \dots + \frac{v \cdot u_n}{u_n \cdot u_n} u_n$$

La descomposición ortogonal de un vector  $v$  se refiere a expresar el vector como la suma de dos vectores donde el primero es la proyección ortogonal de  $v$  en un subespacio  $W$  del cual se tiene una base ortogonal y el segundo sería el componente ortogonal de  $v$  en  $W$ . [27]

- **Mínimos cuadrados lineales**

La proyección ortogonal de un vector en un subespacio  $W$  es la idea principal del método de mínimos cuadrados. Cuando se tiene un sistema  $Ax = b$  que no tiene solución, lo más que se puede hacer es dar una solución  $\hat{x}$  que dé como resultado un vector  $\hat{b}$  lo más cercano posible a  $b$ . La solución obviamente debe estar dentro de  $\text{Col}A$  por lo que  $\|b - \hat{b}\| < \|b - \hat{c}\|$  para todo  $\hat{c}$  dentro de  $\text{Col}A$  diferente de  $\hat{b}$ . Para esto podemos utilizar la proyección ortogonal de  $b$  en  $\text{Col}A$  por lo que  $\hat{b} = \text{proj}_{\text{Col}A} b$ .

Como  $\hat{b}$  está en  $\text{Col}A$ , nuestro sistema  $A\hat{b} = \hat{b}$  debe ser consistente y el vector  $b - \hat{b}$  debe ser ortogonal a  $\text{Col}A$ , incluyendo las columnas de  $A$  que forman la base

para  $ColA$  por lo que el producto interno de  $b - \hat{b}$  y cualquier vector de  $ColA$  debe ser cero. Si  $a_j$  es una columna de  $A$ , entonces  $a_j \cdot b - \hat{b} = 0$ . Como  $\hat{b} = A\hat{x}$ , entonces  $a_j \cdot (b - A\hat{x}) = 0$ .

Lo anterior se puede expresar también como el producto de la multiplicación de dos matrices si en vez de usar el vector columna  $a_j$  usamos  $a_j^T$  ya que  $u \cdot v = u^T v$  por lo que  $a_j^T (b - A\hat{x}) = 0$ . Podríamos incluso usar de una sola vez  $A^T$  y tendríamos  $A^T (b - A\hat{x}) = 0$ .

Manipulando la ecuación anterior tenemos que:

$$A^T (b - A\hat{x}) = 0$$

$$A^T b - A^T A\hat{x} = 0$$

$$A^T A\hat{x} = A^T b$$

$$(A^T A)\hat{x} = A^T b$$

Ese es precisamente el sistema de ecuaciones que hay que resolver para poder dar una aproximación a  $b$  y se llama sistema de ecuaciones normales de  $Ax = b$ . En resumen se trata de encontrar los coeficientes y se realiza el siguiente procedimiento:

1. Resolver el sistema de ecuaciones normales para obtener  $\hat{x}$ .
2. Evaluar  $A\hat{x}$  para obtener  $\hat{b}$ .
3. Proyectar  $b$  en  $ColA$  y verificar que  $proj_{ColA} b = \hat{b}$ .
4. Verificar si  $b - \hat{b}$  es ortogonal a las columnas de  $A$ .

A continuación se da un ejemplo práctico usando dos variables donde a partir de un conjunto de datos, en donde se debe aproximar una fórmula que modele el comportamiento de los mismos para poder entender su relación y hacer predicciones a futuro. En estadística, a esto se le conoce como regresión lineal.

Suponiendo que se tiene un conjunto de datos  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  y se desea una fórmula que permita predecir  $y$  en base a  $x$  y que en una gráfica pareciera que yacen a lo largo de una línea recta, se usa la ecuación de la recta  $y = mx + b$  para modelarlos. En estadística la notación utilizada es diferente. En vez de  $y = mx + b$  se

utiliza  $y = \beta_0 + \beta_1 x$ . Lo que queremos se desea es encontrar los valores de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  que permitan que una línea se ajuste lo mejor posible al conjunto de datos observado.

El objetivo entonces es poder crear una matriz  $A$  y el vector  $b$  para poder resolver el sistema de ecuaciones normales. Del mismo modo que la ecuación de la recta tiene otra notación, este sistema de ecuaciones también tiene otra notación. En vez de usar  $Ax = b$ , se utiliza  $X\beta = y$  donde  $X$  es la matriz de diseño (equivalente a  $A$ ),  $\beta$  es el vector parámetro (los pesos que hay que encontrar) y  $y$  es el vector observado (sería  $n$   $b$  en  $Ax = b$ ).

La manera para crear el sistema de ecuaciones lineales y por ende, la matriz de diseño  $\beta$  y el vector observado  $y$  se lo realiza de la siguiente forma:

Por cada punto observado  $(x_i, y_i)$ , se tendrá un punto en nuestra línea  $(x_i, \beta_0 + \beta_1 x)$ . Suponiendo que todos los puntos observados se encuentran en realidad a lo largo de la misma línea se tendría que:

$$\beta_0 + \beta_1 x_1 = y_1$$

$$\beta_0 + \beta_1 x_2 = y_2$$

— — —

$$\beta_0 + \beta_1 x_n = y_n$$

Las incógnitas son  $\beta_0$  y  $\beta_1$  por lo que se puede escribir el sistema de la siguiente manera:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & x_n \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_n \end{bmatrix}$$

La primera columna contiene puro 1 ya que  $\beta_0 + \beta_1 x$  puede ver como un polinomio de la forma  $\beta_0 x_0 + \beta_1 x_1$  donde  $x_0 = 0$  por lo que  $\beta_0 x_0 = \beta_0$ .

Cuando se tiene una serie de puntos que gráficamente indican podría ser modelada a través de una parábola ya que los datos son más dispersos y por lo cual es óptimo usar una ecuación parabólica. En este caso con la explicación anterior se tiene que la ecuación de la parábola se representa así:  $y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 = y_1$ . Siguiendo el mismo razonamiento del ejemplo anterior, si todos los puntos estuviesen a lo largo de la parábola se tendría que:

$$\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 = y_1$$

$$\beta_0 + \beta_1 x_2 + \beta_2 x_2^2 = y_2$$

— — —

$$\beta_0 + \beta_1 x_n + \beta_2 x_n^2 = y_n$$

Las incógnitas son  $\beta_0, \beta_1$  y  $\beta_2$  se ubica el sistema de la siguiente manera:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_n \end{bmatrix}$$

Como se puede ver, aunque la  $x$  se está elevando al cuadrado, el sistema sigue siendo lineal en el sentido de que las incógnitas lo son. [28]

- **Método Exponencial**

La expresión  $y = a^x$ , o  $f(x) = a^x$ , ( $0 < a < 1$ ) se denomina función exponencial donde el valor de  $a$  puede ser cualquier número positivo excepto el 1. Las funciones exponenciales, son relaciones funcionales en las cuales la variable independiente  $x$  es el exponente de la potencia.

**Elementos de la función exponencial:**

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^*$$

$$x \rightarrow y = f(x) = a^x$$

$$a > 0, a \neq 1$$

La base  $a > 1$  hace que la función sea creciente:

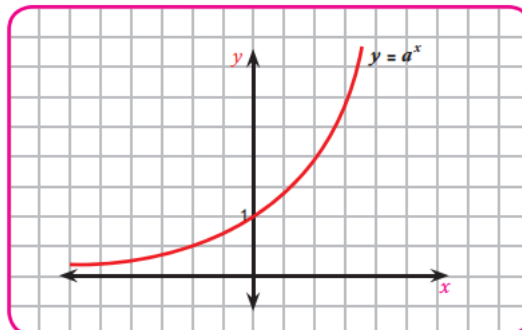


Fig. 2. 28. Función creciente

Fuente: Investigadora basado en [29]

La base  $0 < a < 1$  hace que la función sea decreciente:

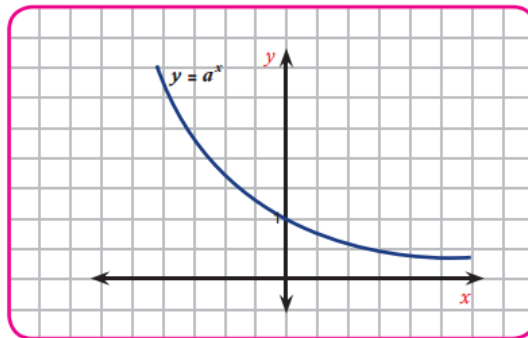


Fig. 2. 29. Función decreciente

Fuente: Investigadora [29]

La regresión exponencial es de gran utilidad ya que se puede considerar como un modelo adecuado para la distribución de probabilidad de tiempo de espera entre dos hechos. El modelo exponencial corresponde a una variable aleatoria continua en donde X se define la variable exponencial como el tiempo, recorrido, volumen, requerido para la aparición de una sola ocurrencia de un proceso de poisson.

### Función de densidad

Dada una variable aleatoria X que tome valores reales no negativos  $\{x \geq 0\}$  se dice que tiene una distribución exponencial de parámetro  $\alpha$  con  $\alpha \geq 0$ , si y sólo si su función de densidad tiene la expresión:  $f(x) = \alpha \cdot e^{-\alpha x}$

Entonces se concluye que  $x \Rightarrow Exp(\alpha)$ , y gráficamente se representa en la figura 2.30 en este caso el valor de  $\alpha=0.05$ .

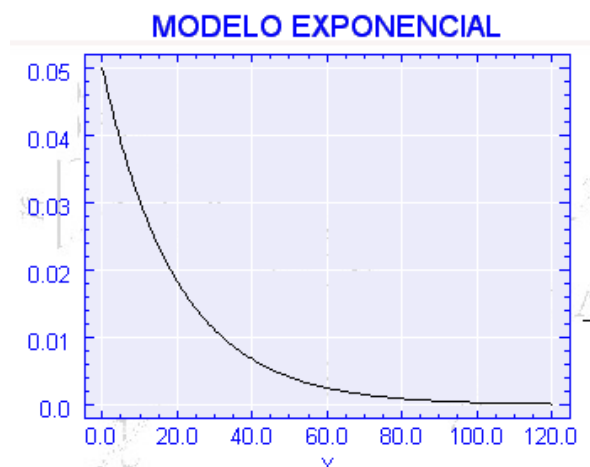


Fig. 2. 30. Modelación exponencial

Fuente: <https://www.uv.es/ceaces/base/modelos%20de%20probabilidad/exponencial.htm>

Se dice que una variable aleatoria continua  $X$  sigue una distribución exponencial de parámetro  $\alpha$  si su función de densidad es:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ \alpha e^{-\alpha x} & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$$

Donde  $\alpha$  es una constante positiva y se denota como  $X \sim E(\alpha)$ . Un cálculo inmediato nos dice que si  $x > 0$ ,

$$\int_0^x \alpha e^{-\alpha t} dt = -e^{-\alpha t} \Big|_0^x = 1 - e^{-\alpha x}$$

Luego la función de distribución es:

$$F(X) = \begin{cases} 1 - e^{-\alpha x} & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Distribución exponencial  $\text{Exp}(\alpha)$ :

$f(x) = \alpha e^{-\alpha x}$  para  $x \geq 0, \alpha > 0$  entonces se tiene que:

$$\int_0^{+\infty} f(x) dx = \int_0^{+\infty} \alpha e^{-\alpha x} dx = -e^{-\alpha x} \Big|_0^{+\infty} = 1 \quad [29]$$

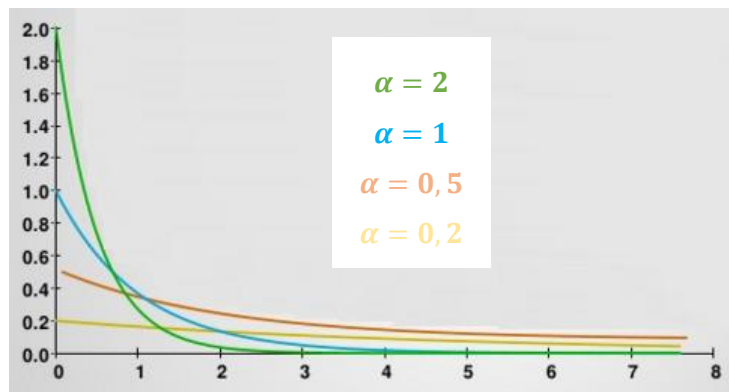


Fig. 2. 31. Gráfica de variación de  $\alpha$

Fuente: Investigadora basado en [29]

La ecuación se denota así:  $Y = Ae^{BX}$

A continuación el proceso para obtener los valores de los coeficientes A y B:

$$Y = Ae^{BX}$$

$$\ln Y = \ln Ae^{BX}$$

$$\ln Y = \ln A + \ln e^{BX}$$

Se renombra variables:  $\ln Y = Y'$  y  $\ln A = A' \Rightarrow Y' = A' + BX$

Para obtener la variable B se realiza de la siguiente manera:

$$B = \frac{n(\sum XY') - (\sum X)(\sum Y')}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Obtener la variable A':

$$A' = \frac{Y'}{n} - B \frac{X}{n}$$

Una vez determinados los valores de las variables A y B entonces se obtiene la ecuación exponencial la cual se adapta de mejor manera a los valores dependiendo si esta es una función creciente o decreciente.

## 2.5 Software para la modelación matemática

### 2.5.1 Java

Java en si es un lenguaje de programación orientado a objetos, fue diseñado para ser portable y ser accesible a diversas plataformas. En un inicio fue desarrollado por Sun Microsystems el software se diseñó tomando como patrón el lenguaje de programación C++, el cual intento introducirse en el mercado de la electrónica, desarrollando programas para pequeños dispositivos electrónicos. Después Sun decidió crear un filial, denominada FirstPerson Inc. [28]

La característica predominante de java es su adecuación a internet, la cual le permitió crear incrustar programas, gráficas interactivas y otros efectos en las páginas web. A continuación se mencionan las características de Java.

- ✓ El Lenguaje totalmente orientado a objetos porque todos los conceptos en los que se apoya esta técnica son la encapsulación, herencia, polimorfismo, etc.
- ✓ La programación de aplicaciones con Java se basa no solo en el empleo del juego de instrucciones que componen el lenguaje, sino, fundamentalmente, en la posibilidad de utilizar un amplio conjunto de bibliotecas.

- ✓ Utiliza un lenguaje simple, debido a su semejanza con C y C++, y dado que la mayoría de la gente los conoce aunque sea de forma elemental, resulta muy fácil aprender Java.
- ✓ Java proporciona una colección de clases para su uso en aplicaciones de red, que permiten abrir sockets y establecer y aceptar conexiones con servidores o clientes remotos, facilitando así la creación de aplicaciones distribuidas.
- ✓ Java es compilado, en la medida en que su código fuente se transforma en una especie de código máquina, los bytecodes, semejantes a las instrucciones de ensamblador.
- ✓ Java es robusto porque proporciona numerosas comprobaciones en compilación y en tiempo de ejecución. Sus características de memoria liberan a los programadores de una familia entera de errores, ya que se ha prescindido por completo de los punteros, y la recolección de basura elimina la necesidad de liberación explícita de memoria.
- ✓ Java está diseñado para soportar aplicaciones que serán ejecutadas en los más variados entornos de red, desde Unix a Windows, pasando por Mac y estaciones de trabajo, sobre arquitecturas distintas y con sistemas operativos diversos.
- ✓ Java especifica los tamaños de sus tipos de datos básicos y el comportamiento de sus operadores aritméticos, de manera que los programas son iguales en todas las plataformas. Estas dos últimas características se conocen como la Máquina Virtual Java (JVM).
- ✓ El lenguaje Java y su sistema de ejecución en tiempo real son dinámicos en la fase de enlazado. Las clases sólo se enlazan a medida que son necesitadas. Se pueden enlazar nuevos módulos de código bajo demanda, procedente de fuentes muy variadas, incluso desde la Red.
- ✓ Java puede ser usado para crear dos tipos de programas: aplicaciones independientes y applets. [30]

### **2.5.2 MATLAB (Matrix Laboratory)**

MatLab es un programa interactivo para computación numérica y visualización de datos. Es ampliamente usado por ingenieros de control en el análisis y diseño, posee además una extraordinaria versatilidad y capacidad para resolver problemas en matemática aplicada, física, química, ingeniería, finanzas y muchas otras aplicaciones.



Matlab, es un software matemático con un lenguaje de alto nivel que está disponible para las siguientes plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux. Además Matlab permite resolver inmensos inconvenientes computacionales, principalmente los que implican análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo.

En la industria se utiliza para resolver problemas prácticos de ingeniería y matemáticas como:

- Cálculos Numéricos
- Procesamiento de señales
- Diseño de sistemas de control
- Desarrollo de aplicaciones que requieren de una interfaz gráfica (GUI)
- Simulación de sistemas dinámicos
- Modelación
- Identificación de sistemas
- Redes neuronales

La ventaja principal de Matlab es el uso de Toolboxes, existen Toolboxes para procesamiento digital de señales, sistemas de control, redes neuronales, lógica difusa, adquisición y procesamiento de imágenes, etc. El Toolbox de adquisición de imágenes proporciona a Matlab varias funciones, para visualización y desarrollo de algoritmos nuevos y crear modernas aplicaciones.

El software de Matlab posee de dos herramientas adicionales como son; La plataforma de simulación multidominio (Simulink) y el Editor de Interfaz de Usuario (Guide). Las herramientas cuentan con un entorno gráfico interactivo con el que se puede analizar, modelizar y simular la dinámica de sistemas no lineales. [31]

### **2.5.3 Delphi**

Es un lenguaje de programación creado con el propósito de agilizar la creación de software que se basa en programación visual. En este software se utiliza unas versiones más actualizadas del lenguaje Pascal conocida Object Pascal que es un lenguaje de programación orientado a objetos, lo que permite utilizar las características importantes en programación como el encapsulamiento, polimorfismo y la herencia.

El Delphi es un lenguaje versátil utilizado para realizar cualquier tipo de proyecto uno de los ejemplo en los servicios de sistema operativos pueden establecer una comunicación entre un servidor web y un programa, aplicaciones de consola además de poder establecer conectividad con base de datos para realizar aplicaciones visuales.

➤ **Ventajas de Delphi**

- En cualquiera de sus versiones se puede programar DLLs
- Se programa directamente sus componentes visuales e incluso crea nuevos controles que heredan características de lo que ya existen.
- En el Delphi se puede añadir componentes visuales de otros lenguajes de programación.

Las aplicaciones desarrolladas en Delphi populares actualmente destacan Skype, un programa de telefonía por IP, en la figura 2.32 se observa la página principal de un nuevo proyecto de Delphi

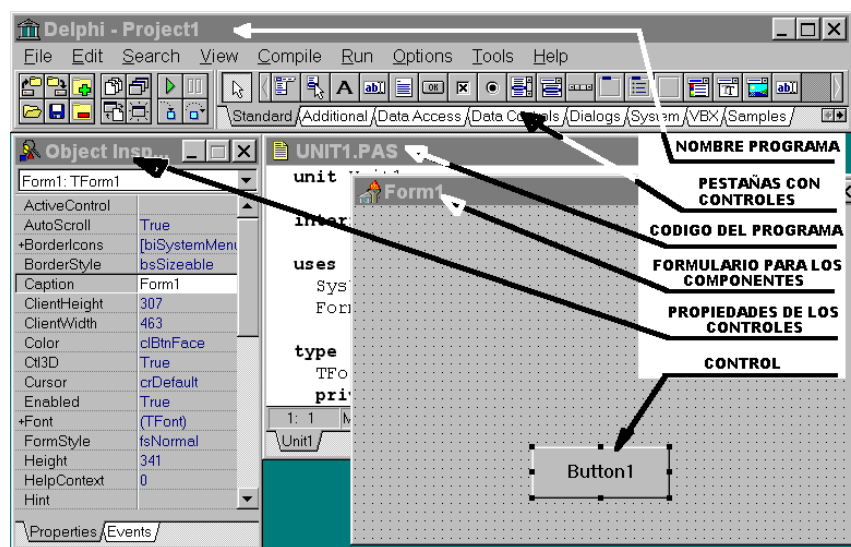


Fig. 2. 32 Ventana principal de Delphi

Fuente: [http://www.formauri.es/arrobamasmamas/Cursos/index.php?apdo=0402&curso=4\\_02\\_00](http://www.formauri.es/arrobamasmamas/Cursos/index.php?apdo=0402&curso=4_02_00)

**Características:**

- Soporte para la programación orientada a objetos también existente desde Turbo Pascal 5.5.
- Simplificación de la sintaxis de referencias a clases y punteros.
- Soporte para manejo estructurado de excepciones, mejorando sensiblemente el control de errores de usuario y del sistema.

- Programación activada por evento, posible gracias a la técnica de delegación de eventos.
- Implementación de Métodos, los cuales contienen procedimientos y funciones.
- Manejo de la herencia simple, que permite la reutilización de código, ampliamente utilizada en el desarrollo de componentes.
- Una parte importante, que es de resaltar, la Programación Multihilos.
- La potencia del lenguaje de programación Delphi, se basa principalmente en la gestión y administración de Base de Datos. [32]

#### **2.5.4 Python**

Es un lenguaje de scripting independiente de plataforma y orientado a objetos, preparado para realizar cualquier tipo de programa, desde aplicaciones Windows a servidores de red o incluso, páginas web. Es un lenguaje interpretado, lo que significa que no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo, lo que ofrece ventajas como la rapidez de desarrollo e inconvenientes como una menor velocidad.

El mismo cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel con un enfoque simple pero efectivo para la programación orientada a objetos, el intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están a libre disposición en forma binaria y de código fuente para las principales plataformas desde el sitio web de Python, y puede distribuirse libremente. El mismo sitio contiene también distribuciones y enlaces de muchos módulos libres de Python de terceros, programas y herramientas, y documentación adicional.

El intérprete de Python puede extenderse fácilmente con nuevas funcionalidades y tipos de datos implementados en C o C++ (u otros lenguajes accesibles desde C). Python también puede usarse como un lenguaje de extensiones para aplicaciones personalizables. Este tutorial introduce de manera informal al lector a los conceptos y características básicas del lenguaje y el sistema de Python.

A continuación se detallan las características del lenguaje:

##### ➤ **Propósito general**

Se pueden crear todo tipo de programas. No es un lenguaje creado específicamente para la web, aunque entre sus posibilidades sí se encuentra el desarrollo de páginas.

➤ **Multiplataforma**

Hay versiones disponibles de Python en muchos sistemas informáticos distintos. Originalmente se desarrolló para Unix, aunque cualquier sistema es compatible con el lenguaje siempre y cuando exista un intérprete programado para él.

➤ **Interactivo**

Python dispone de un intérprete por línea de comandos en el que se pueden introducir sentencias. Cada sentencia se ejecuta y produce un resultado visible, que puede ayudarnos a entender mejor el lenguaje y probar los resultados de la ejecución de porciones de código rápidamente.

➤ **Orientado a Objetos**

La programación orientada a objetos está soportada en Python y ofrece en muchos casos una manera sencilla de crear programas con componentes reutilizables.

➤ **Funciones y librerías**

Dispone de muchas funciones incorporadas en el propio lenguaje, para el tratamiento de strings, números, archivos, etc. Además, existen muchas librerías que podemos importar en los programas para tratar temas específicos como la programación de ventanas o sistemas en red o cosas tan interesantes como crear archivos comprimidos en .zip. [33]

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

Para el desarrollo del proyecto se empleó los siguientes tipos de investigación:

##### **Investigación Bibliográfica-Documental**

Para conocer más acerca del tema, se utilizó fuentes como libros, revistas, publicaciones científicas. De tal forma que se profundizo en el tema, con lo cual se adquirió conocimientos que ayudaron a la formulación de la propuesta.

##### **Investigación de Campo**

Puesto que se realizó el estudio en el lugar de los hechos y se determinó los problemas existentes en el lugar donde se pensó implementar el proyecto inicialmente, consiguiendo así cumplir todos los objetivos planteados.

##### **Investigación Experimental**

Se realizó pruebas para verificar el correcto funcionamiento del modelo.

#### **3.2 Población y Muestra**

El proyecto por su característica no requiere de población y muestra.

#### **3.3 Recolección de la Información**

Para el presente proyecto se recopiló información de libros, internet, revistas científicas, trabajos de investigación, papers, patentes, guía del tutor para el desarrollo del proyecto, etc.

### **3.4 Procesamiento y Análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se llevó a cabo los siguientes aspectos:

- Recolección de datos
- Análisis de la información obtenida, que ayudaron a plantear la mejor alternativa de solución.
- Estudio de todas las propuestas de solución planteadas
- Determinación de la mejor alternativa
- Planteamiento de la propuesta de solución.

### **3.5 Desarrollo del Proyecto**

El desarrollo del presente proyecto se realizó en base a:

- Realización de estudio histórico-bibliográfico de la incidencia de emisiones de radiaciones no ionizantes en el ser humano.
- Comparación las características técnicas de equipos de medición de radiaciones: Spectran HF2025E, PCE-EMF, Narda SRM 3000.
- Elección de óptimo equipo electrónico para las mediciones electromagnéticas y adquisición del mismo.
- Indagación los códigos otorgados por la Arcotel que hagan referencia a emisiones no ionizantes permitidas.
- Elaboración del planimétrico con la ubicación de las estaciones base en el cantón Mera.
- Realización de mediciones de radiación no ionizantes producidas por las estaciones base.
- Tabulación de mediciones de campos eléctricos y densidad de potencia de las estaciones base de telefónica celular.
- Comparación de las mediciones adquiridas con las permitidas por las instituciones encargadas de a regulación de los niveles de radiación para garantizar que no sobrepasen los niveles.
- Búsqueda de información de cómo estructurar un modelo matemático.
- Realización de modelo matemático con variables medidas de los campos electromagnéticos.

- Búsqueda de software que mejor se ajuste a la elaboración de aplicación que muestre el funcionamiento de modelo matemático.
- Creación de aplicación en la cual se ingresa las nuevas estaciones base para mostrar funcionamiento de modelo.
- Determinación de la validez del modelo, mediante los resultados otorgados por la aplicación creada.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

El presente proyecto está orientado a la elaboración de un modelo matemático de la radiación no ionizante producida por las estaciones base de telefonía celular localizadas en el sector urbano del cantón Mera de la provincia de Pastaza como una referencia de lo que sucede en todas las estaciones base existentes, el cual consta en primer lugar de un estudio histórico-bibliográfico acerca de los daños que produce las emisiones de radiación no ionizantes generadas por las estaciones base a las personas expuestas y después se realizó la modelación matemática por medio de los datos adquiridos tanto del campo eléctrico como de la densidad de potencia los cuales fueron tomados mediante un analizador de radiación de alta frecuencia y posteriormente se realizó un software en el cual se muestra el funcionamiento del modelo matemático.

Para la creación de la aplicación que muestre el funcionamiento del modelo matemático es importante realizarlo por medio de las siguientes fases:

- Fase 1: Estudio de las radiaciones no ionizantes.
- Fase 2: Elección de dispositivo de medición.
- Fase 3: Evaluación del procedimiento de medición RNI.
  - Aplicación de Recomendaciones
  - Método de medición impuesto por ARCOTEL
- Fase 4: Procedimiento de mediciones de RNI utilizado
  - Elaboración de mapa con la ubicación de las estaciones base en el cantón Mera.
  - Mediciones de estaciones (previas consideraciones)



- Fase 5: Realización de mediciones: campo eléctrico, magnético y densidad de potencia.
  - Tabulación de las mediciones.
  - Ilustración de campo eléctrico de estaciones.
- Fase 7: Elaboración del modelo matemático.
  - Investigación de metodología de elaboración de modelo matemático.
  - Elección de método matemático para desarrollar el modelamiento matemático.
- Fase 8: Diseño de software de modelo matemático.
  - Búsqueda de software que mejor se adapte para elaboración de modelo matemático.
  - Elaboración de modelación matemática
- Fase 9: Aplicación de funcionamiento de modelación matemática.
  - Búsqueda y elección de software para elaboración de aplicación
  - Realización de aplicación en donde se ingrese una nueva estación base y se visualice el incremento de radiación no ionizante.

#### **4.1 Situación Actual**

En la actualidad el cantón Mera de la provincia de Pastaza cuenta con tres estaciones base de telefonía celular ubicadas en la zona urbana del cantón, cada una de estas estaciones corresponde a las tres operadoras que brindan servicio de SMA estas son, Conecel Otecel y Cnt.

Las estaciones base están ubicadas a poca distancia una de la otra esto implica que se genere preocupación por parte de la población que se encuentra viviendo alrededor de cada una de estas, ya que por el hecho de estar expuestos a las emisiones electromagnéticas se crea una idea de que a largo plazo la población obtendrá alguna enfermedad catastrófica que le produzca la muerte.

Existe una clara falta de información acerca, de cómo las emisiones electromagnéticas en este caso de las Radiaciones no ionizantes las mismas que son producidas por las estaciones base de telefonía celular funcionan en el cuerpo humano, ya que ninguna entidad pública encargada del control de emisiones electromagnéticas ha elaborado una conferencia tratando este tema y que certifiquen que las estaciones base ya ubicadas no

estén afectando a los habitantes del cantón. En forma general en la provincia de Pastaza las tecnologías nuevas como LTE no se ha desarrollado debido a la demora en los estudios de la afectación de las emisiones electromagnéticas y porque la población no se siente segura de vivir en una zona donde se ubiquen nuevas estaciones base.

Por este motivo es necesario desarrollar un modelo matemático que genere resultados de las emisiones de radiaciones no ionizantes al ubicar una nueva estación base en el cantón Mera, esto para agilizar el proceso de estudio de emisiones electromagnéticas y a la vez de asegurar a los habitantes que no se genera alguna afectación al cuerpo humano.

Además se crea una aplicación que muestre el funcionamiento del modelo matemático y que genere resultados visibles de cómo se incrementa la radiación no ionizante y a su vez detalle si afecta o no a la población.

## **4.2 Factibilidad**

La factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para cumplir los objetivos planteados en el proyecto. El desarrollo del proyecto es viable e varios ámbitos en los que se destaca:

### **4.2.1 Factibilidad Técnica**

El proyecto es técnicamente factible de realizarlo porque todos los equipos electrónicos utilizados en el desarrollo del proyecto son de fácil adquisición dentro y fuera del país.

### **4.2.2 Factibilidad Económica**

El proyecto es económicamente factible de realizarlo, debido a que todos los gastos son financiados por el investigador.

### **4.2.3 Factibilidad Bibliográfica**

El proyecto es bibliográficamente factible, debido a que la información necesaria para el desarrollo del proyecto está al alcance del investigador ya que se puede encontrar en libros, revistas científicas, artículos científicos, tesis de grado, publicaciones de periódicos relacionadas al tema y publicaciones web.




### 4.3 Requerimientos

Para el desarrollo del modelo matemático es necesario realizar mediciones electromagnéticas, por lo cual es indispensable un medidor de campos electromagnéticos selectivos en el rango de frecuencias de 700MHz a 2,5GHz. Además para la obtención del modelo matemático, es necesario un software que soporte realizar cálculos matemáticos avanzados.

#### 4.3.1 Hardware

Para la medición de la radiación no ionizante producida por la estaciones base de telefonía celular se consideró los siguientes dispositivos electrónicos; SRM NARDA 3000, Spectran HF2025E, PCE-EMF 823. De los cuales se revisó las características técnicas, físicas y a su vez que el precio sea accesible a continuación se presenta la tabla 4.2 donde se realiza la comparación de cada dispositivo.

Tabla 4. 1 Características Técnicas

	NARDA SRM 3000 	Spectran HF2025E 	PCE-EMF 823 
Rango de frecuencias	100 kHz a 3 GHz	700MHz a 2,5GHz	30 Hz a 300 MHz
Amplitud	-27 dBm to +23 dBm (in steps of 1 dB)	-80dBm a 0dBm (tip.) [Antena HyperLOG 7025, para GSM900, Smax=45 mW/m2]	-----
Tiempo de muestreo más corto	-----	100mS	Aproximadamente 1 segundo

Anchos de banda de resolución (RBW)	1 MHz a 100 MHz	1MHz a 50MHz	micro Tesla: 20 micro Tesla x 0.01 micro Tesla 200 micro Tesla x 0.1 micro Tesla 2,000 micro Tesla x 1 micro Tesla milli- Gauss: 200 mG x 0.1 mG 2,000 mG x 1 mG 20,000 mG x 10 mG * mG : milli- Gauss * 1 micro
Unidades	V / m, A / m, W / m <sup>2</sup> , mW / cm <sup>2</sup> , dBV / m, dBmV / m, dBA / m, dB uV /	dBm, dB $\mu$ V, V/m, A/m, W/m <sup>2</sup> (dB $\mu$ V/m, W/cm <sup>2</sup> etc. con	-----
Entrada	N connector, 50 $\Omega$	50 Ohm SMA AF (f)	-----
Exactitud	+/- 2dB	+/- 4dB	Rango Precisión 20 microTesla $\pm$ (4 % + 3 d) 200 microTesla $\pm$ (5 % + 3 d) 2,000 microTesla $\pm$ (10 % + 5 d) 200 mG $\pm$ (4 % + 3 d) 2,000 mG $\pm$ (5 % + 3 d) 20,000 mG $\pm$ (10 % + 80 mG)
Interfaz	RS232 y USB	USB 2.0/1.1	-----
Peso	1,9 kg con baterías	410gr	216 g / 0,48 lb
Garantía	5 años	10 años	1 año

Fuente: Investigadora basado en [34], [35] y [36]

Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para la elección del dispositivo de medición electromagnéticas, es el costo y la disponibilidad de este en el mercado ecuatoriano o la posibilidad de adquisición del extranjero, punto que juega un importante y decisivo papel por lo cual se realiza una comparación y análisis de costos en la tabla 4.3.

Tabla 4. 2 Costos de Equipos

	NARDA SRM 3000	Spectran HF2025E	PCE-EMF 823
			
Precio del artículo	\$45000	\$599.00	\$ 133.49
Disponibilidad en el país	Ninguna	Activa	Activa
Plazo de entrega	30 días	15 días	8 días

Fuente: Investigadora basado en [34], [35] y [36]

Se optó por elegir el dispositivo **Spectran HF2025E**, puesto que muestra las mejores características eléctricas, físicas y que a su vez cuenta con manuales de usuario didácticos, lo cual facilitan el uso del dispositivo y además el precio es accesible.

Además se proporciona detalladamente las características técnicas de los equipos adiciones utilizados en las mediciones:

- **GPS**

El GPS es necesario en el desarrollo de las mediciones porque es importante la ubicación de las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones base y de los puntos en donde se realizaron las mediciones, por lo cual dicha ubicación se logra con gran precisión a través del Sistema de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés, el mismo que brinda confiabilidad en los datos adquiridos.



Fig. 4. 1 GPS ETREX 10

Fuente: [www.buygarmin.com](http://www.buygarmin.com)

La unidad eTrex 10 se observa en la figura 4.1, este mantiene las funciones básicas, el diseño resistente, la asequibilidad y la autonomía, sirve para la navegación terrestre y está diseñado para proporcionar el posicionamiento preciso. La descripción técnica de este equipo se detalla en la tabla 4.4. [37]

Tabla 4. 3 Características físicas GPS ETREX 10

<b>CARACTERISTICAS FÍSICAS</b>	
Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad)	2,1" x 4" x 1,3" (5,4 x 10,3 x 3,3 cm)
Resolución de pantalla (Ancho/Alto)	128 x 160 píxeles
Tipo de pantalla	Transflectiva, monocroma
Peso	5 oz (141,7 g) con pilas
Batería	2 pilas AA
Duración de la batería	25 horas
Clasificación de resistencia al	IPX7
Receptor de alta sensibilidad	Si
Interfaz del equipo	USB
Waypoints	1000
Rutas	50

Fuente: <https://buy.garmin.com/es-AR/AR/entrenando-explorando/portatil/etrex-10/prod87768.html>

### 4.3.2 Software

La creación de modelos matemáticos se realiza por medio de programación matemática, existen diferentes tipos de software de código abierto o código privado, a continuación en la tabla 4.1 se observa un análisis comparativo de los lenguajes de programación más relevantes para el desarrollo de modelos matemáticos.

Tabla 4. 4 Análisis comparativo de los lenguajes de programación

<b>Características</b>	<b>JAVA</b>	<b>MATLAB</b>	<b>DELPHI</b>	<b>PYTHON</b>
<b>Sistema Operativo</b>	Linux, Mac y Windows	Multiplataforma	Linux, Mac y Windows	Linux, Mac y Windows
<b>Licencia</b>	Libre	Propietaria	Libre	Libre
<b>Idioma</b>	Español	Español	Ingles	Ingles
<b>Aplicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de aplicaciones en red.</li> <li>- Aplicaciones que se ejecuten en “consolas”.</li> <li>- Aplicaciones de tipo applets.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software matemático.</li> <li>- Procesamiento de imágenes.</li> <li>- Visión artificial.</li> <li>- Análisis estadístico</li> <li>- Diseño de controladores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicaciones web.</li> <li>- Interfaz grafica</li> <li>- Gestión y administración de base de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interfaz gráfica.</li> <li>- Servicio Web.</li> <li>- Software y juegos de desarrollo.</li> <li>- Programación red.</li> <li>- Procesamiento de imágenes</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lenguaje orientado a objetos.</li> <li>- Lenguaje de programación seguro.</li> <li>- El multihebra soporta redes distribuidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad de uso</li> <li>- Robusto</li> <li>- Orientado a objetos</li> <li>- Soporta varias base de datos</li> <li>- Lenguaje de alto nivel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orientado a componentes y eventos.</li> <li>- Se puede programar DLLs</li> <li>- Se programa sus componentes visuales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lenguaje de propósito general</li> <li>- Multiplataforma</li> <li>- Orientado a objetos</li> <li>- Portable</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los programas tienden a ser lentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando el problema numérico es de gran tamaño matlab no es lento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco competitivo en el desarrollo de aplicaciones de gran tamaño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lentitud por ser un lenguaje interpretado.</li> </ul>

-Fuente: Investigadora basado en [28], [31], [32] y [33]

Luego de realizar el análisis comparativo de los lenguajes de programación se optó por Matlab debido a que:

- Cuenta con una librería dedicada al tratamiento métodos numéricos para creación de modelos matemáticos.
- Es un software robusto.
- Matlab no necesita una gran cantidad de memoria.
- Existe mucha información para su utilización.
- Previamente ya se tiene conocimientos de Matlab, lo que facilita al momento de realizar el modelo matemático.
- Gracias a la Interfaz de Usuario (Guide), permite desarrollar la aplicación en un ambiente visual.

#### **4.4 Estudio de las radiaciones no ionizantes**

Para la evaluación de los efectos que producen las emisiones de RNI en la salud del ser humano, se ha realizado una revisión de los principales documentos publicados por organizaciones internacionales tales como el IEEE, ICNIRP, IARC y OMS, además se revisó los documentos nacionales más importantes publicados por ARCOTEL.

Los estudios de efectos biológicos producidos en la salud debido a la exposición a los campos electromagnéticos se iniciaron en 1950 y actualmente la base de datos del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la OMS tiene más de 3200 estudios para radiofrecuencia incluyendo aproximadamente 1100 estudios sobre telefonía móvil.

La exposición externa a RNI de las estaciones de telecomunicaciones, se mide en términos del campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m o Teslas) y densidad de potencia (W/m), que para campos de radiofrecuencia o para regiones de campo lejano como cercano están completamente relacionados. La exposición interna para las radiofrecuencias se mide en términos de la tasa de SAR (W/kg).

El SAR, es la unidad que se utiliza como base de todas las guías de seguridad ante la exposición a radiofrecuencias. El SAR se define en vatios por kg, siendo el índice de la absorción de la energía de radiofrecuencia en una unidad de masa de tejido, o material equivalente al tejido en el caso de modelos.



Los límites de la exposición para el público en general son siempre de una magnitud varias veces menor que para los trabajadores y se encuentran basados en la caracterización de la energía absorbida por el cuerpo humano. El umbral de exposición máximo que un ser humano debe soportar es 4 W/kg, este valor está basado en estudios de comportamiento a corto plazo en varias especies animales y este valor se utiliza como valor límite de seguridad. Puesto que no es posible medir el SAR en el ambiente, los otros parámetros sobre todo densidad de potencia ( $W/m^2$ ), se utilizan como guías de exposición.

Los campos de alta frecuencia tienen la capacidad de penetrar el cuerpo humano, mientras mayor es la frecuencia, menor es la profundidad de penetración, con el efecto principal de aumento de la temperatura en el tejido expuesto. El cuerpo humano puede adaptarse a pequeños aumentos de la temperatura de la misma manera como lo hace cuando se realiza ejercicio o actividades deportivas. Sin embargo, por encima de un cierto intervalo de duración a la exposición HF y el aumento de la temperatura, puede provocar efectos graves para la salud.

Una considerable cantidad de investigación sobre la relación entre los campos de alta frecuencia y los resultados de salud como dolores de cabeza, dificultad de concentración, la calidad del sueño, la función cognitiva, efectos cardiovasculares, etc. Esta investigación hasta la fecha no ha mostrado ningún tipo de efectos sobre la salud. El hallazgo observado consistentemente es un pequeño efecto sobre la actividad cerebral medida por la electroencefalografía (EEG). En fin no se ha demostrado que afectan a la calidad del sueño o estar asociados a otros efectos dañinos.

Además el aumento del riesgo observado en algunos de los estudios epidemiológicos es incompatible con la frecuencia estable de ocurrencia de estos tipos de cáncer en la población. Esa es una consideración importante, dado el aumento generalizado y significativo en el uso de teléfonos móviles en la población en general durante las últimas décadas. [14]

#### **4.4.1 Fuentes principales y niveles de exposición**

Las fuentes principales básicamente toman dos formas de exposición hacia las personas y son la radiación de las estaciones fijas las cuales provocan exposición en cuerpo

entero del ser humano y la radiación producida por las estaciones portátiles que son las que afectan a la zona craneal de ser humano.

➤ **La radiación de las estaciones fijas que provocan exposición de cuerpo entero**

Las estaciones fijas que provocan exposición del cuerpo entero del ser humano, se refiere a las estaciones base de telefonía celular, en este caso las RNI están muy por debajo de los límites permisibles y generalmente la exposición es involuntaria, el máximo valor de exposición del campo eléctrico es de 5 V/m esto tomando en cuenta que se producirá en ambientes poblacionales para estaciones base de telefonía celular según los límites aprobados por la ICNIRP.

➤ **La radiación de estaciones portátiles:**

La radiación de estaciones portátiles es aquella provocada específicamente por los teléfonos móviles, que incide una exposición a la cabeza aunque además depende también de donde las personas localizan los dispositivos móviles por lo que pueden afectar otras zonas del cuerpo.

De acuerdo con cálculos realizados por la científicos de la ICNIRP y la OMS, los valores máximos del campo entre 2 y 3 cm de la cabeza fueron de 400 V/m (424,4 W/m) para un teléfono móvil de 2W a 900 MHz y 200 V/m para 1W a 1800 MHz (106,1 W/m) y la parte de potencia absorbida por la cabeza es aproximadamente del 40% de la potencia emitida.

En cuanto a la exposición interna de los tejidos del ser humanos, se ha encontrado voluntarios que han accedido a ser expuestos a SAR de 4 W/kg por 15 a 20 minutos dando como resultado un promedio de incremento de temperatura de 0,2 a 0,5 °C lo que es completamente aceptable para que un ser humano sea sano. En recientes estudios con modelos probabilísticos desarrollados por la ICNIRP con referencia a los teléfonos móviles se encontró que para potencias promedio temporal de 0,25 W en la banda de 900 MHz el SAR era aproximadamente 1,6 W/kg y predecía un máximo incremento de temperatura del cerebro de 0,1 °C, pero dependerá también de la forma del tejido.

En experimentos realizados por la OMS para personas que realizan una llamada de 30 minutos se encontró que la ausencia de propagación del calor por convección debido a

la sola presencia del teléfono causa un incremento de temperatura (0,9 °C) que es mayor que el incremento de temperatura por el SAR (0,1 °C) concluido por la ICNIRP.

#### **4.4.2 Efectos biológicos en la salud del ser humano**

De los estudios realizados se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia del efecto térmico de las RNI que se producen cuando el SAR es mayor a 4W/ kg produciendo un incremento de temperatura mayor a 1 °C y que se convierte en el indicador más sensible que puede ser definido como efecto nocivo para la salud durante la exposición a campos electromagnéticos, el mismo que deber ser tomado en cuenta antes que aparezcan lesiones anatómicas debido a exposiciones fuertes y no tratadas con las medidas de seguridad requeridas.

##### **➤ Efectos térmicos**

Los efectos térmicos ocurren cuando la temperatura de una determinada parte de un organismo del ser humano expuesta a la radiofrecuencia aumenta visiblemente. En los estudios desarrollados por la OMS en animales, las respuestas observadas en la exposición de radiofrecuencias, han sido variadas y son las siguientes:

- Cambios en la regulación de la temperatura.
- Cambios de la función endocrina.
- Cambios de la función cardiovascular.
- Cambios en la inmunorespuesta.
- Cambios en la actividad del sistema nervioso y del comportamiento.

##### **➤ Efectos No térmicos**

Los estudios científicos realizados hasta la fecha por organizaciones encargadas del control a la exposición a los campos de radiofrecuencia como la OMS y la ICNIRP, han demostrado que la exposición cuyos efectos son no térmicos o de intensidad reducida, no deterioran la salud de seres humanos o de animales, sin embargo, la evidencia científica existente es incompleta y por lo tanto es inadecuada para eliminar la hipótesis de que efectos no térmicos afecten a la salud humana.

Con respecto al impacto en la salud, se han realizado numerosos estudios, a diferentes niveles a fin de tratar de evidenciar el impacto en la salud de las radiaciones no ionizantes y los estudios no son muy concluyentes en muchos casos, pero de los

estudios se ha establecido algunos efectos en el cuerpo humano los cuales se menciona a continuación.

➤ **Efectos en el sistema nervioso**

De los estudios realizados por Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) sobre los efectos en seres humanos sobre la función cognitiva y memoria, electroencefalogramas, disturbios del sueño y potenciales relacionados con eventos, dolor de cabeza y fatiga, hipersensibilidad, efectos en la presión sanguínea y el ritmo cardiaco, se observa que la evidencia de efectos adversos para exposición de bajo nivel es no convincente e inconsistente por lo que no se toman acciones que contrarresten este tipo de radiaciones no ionizantes.

✓ **Membrana celular:**

La IARC ha demostrado que la exposición a RF puede afectar el transporte de los iones de calcio, sodio y potasio a través de la membrana celular, pero es extremadamente probable que sea un efecto térmico. Además hay evidencia de que los campos de RF pueden afectar las proteínas de las membranas y cambiar el movimiento de iones a través de dichas membranas, algunos de estos efectos solamente pueden ocurrir para temperaturas muy por debajo de la temperatura normal del cuerpo o con intensidades de campo que causan calentamiento significativo.

En el caso de los teléfonos móviles hay evidencias que sugieren cierta influencia sobre los canales de iones y otras proteínas de la membrana de neuronas en el cerebro bajo condiciones normales, lo cual puede causar cambios sutiles en la función celular, pero se desconoce los efectos en la salud humana por lo que no se convierte en un tema que implique medidas muy drásticas para su solución sin embargo no se puede dejar a un lado la temática porque no se conocen los efectos a largos plazos ya que los estudios realizados hasta la fecha no son concluyentes de ningún tipo.

✓ **Flujo de calcio:**

Aunque evidencia expuesta por la IARC sugiere que hay efectos en la liberación de calcio del tejido cerebral para niveles no térmicos los resultados son contradictorios y algunos investigadores sugieren que esos efectos se deben a los campos modulantes de frecuencias extremadamente bajas de alrededor de 16 Hz. Los estudios con teléfonos

móviles de tecnología GSM señalan que no hay clara indicación de que haya efectos sobre los niveles o la señalización del calcio en los linfocitos.

✓ **Excitabilidad neuronal:**

La exposición a campos de RF de alta intensidad causa un incremento en la temperatura del tejido lo que produce que se reduzca la excitabilidad de las neuronas; mientras que la exposición a campos de RF de baja intensidad no produce efectos en la excitabilidad neuronal.

✓ **Sistemas neurotransmisores:**

La mayoría de los estudios realizados por la IARC sobre sistemas neurotransmisores se han realizado para niveles de exposición térmica, encontrándose que las respuestas son de tipo termorregulatorio u otras respuestas al cambio de temperatura.

✓ **Electroencefalograma (EEG):**

Los estudios realizados los la IAARC respecto al EEG en animales generalmente no han empleado condiciones que son directamente relevantes a la tecnología de teléfonos móviles y los resultados han sido mezclados; pero algunos experimentos en animales han producido efectos en la actividad del cerebro a niveles no térmicos de RF.

En el caso de estudios en seres humanos hay resultados que sugieren que la exposición aguda a campos de los teléfonos móviles a niveles inferiores de los valores límites recomendados modifican ciertas funciones cerebrales y producen efectos de amplitud suficiente para modificar el comportamiento. Los experimentos realizados sobre EEG en seres humanos durante el sueño han reportado cambios que se encuentran dentro del rango de variación normal diario o entre individuos.

✓ **Percepción auditiva:**

La percepción auditiva de campos pulsantes de RF intensos puede dar lugar a respuestas involuntarias en la audición de las personas. Este fenómeno no ha sido explorado usando condiciones que sean directamente relevantes a la tecnología móvil, pero es improbable que ocurran a las intensidades pico de los campos pulsantes asociados con los teléfonos móviles.

✓ **Efectos en los ojos:**

Los efectos adversos en el ojo para la exposición a la RF solamente se han asociado con incrementos de temperatura significativos. Las intensidades de los campos pulsantes de RF utilizadas sobre los ojos estuvieron muy por encima del SAR proveniente del uso de los actuales teléfonos móviles. No hay evidencia de efectos oculares significativos para valores debajo de 4W/kg. Todos los efectos observados en la zona de afectación cayeron dentro del rango fisiológico normal que pueden soportar las personas.

✓ **Efectos en el sueño:**

Los resultados respecto a los efectos en el sueño de varios estudios otorgados por la IARC señalan que la exposición a intensidades de campos relativamente altas de los teléfonos móviles puede afectar la actividad del cerebro durante el ciclo del sueño, pero no hay razón para suponer que ello implique un peligro a la salud a pesar de que la falta de sueño impida el correcto funcionamiento de los sistemas fisiológicos de las personas, reduzca su calidad de vida e inclusive lleve a la muerte.

➤ **Efectos cancerígenos**

Los estudios mostrados por la IARC sobre los efectos cancerígenos han sugerido que la radiación de RF de alto nivel y en algunos a niveles subtérmicos puede iniciar la formación de tumores e incrementar los efectos de conocidos cancerígenos o promover el crecimiento de tumores transplantados.

Se ha planteado la hipótesis de que la exposición recurrente a la radiación de teléfonos móviles podría llevar a la expresión crónica de las proteínas de choque térmico (HSP) en el tejido cerebral de los usuarios y eso a su vez inducir o promover cáncer, pero el balance de la evidencia nos muestra que ni los experimentos in vitro ni los experimentos in vivo indican que la exposición aguda o crónica, esto sugiere que es improbable que la exposición a campos de radiofrecuencia actúe como un iniciador de tumores.

✓ **Ornitina Decarboxilasa (ODC):**

Los efectos que producen los campos pulsantes de RF modulados de las estaciones en la pueden causar un ligero incremento en los niveles y actividad de la enzima ODC para exposición crónica a niveles no térmicos. También es improbable que tales efectos actúen con otros agentes ambientales y contribuyan a la promoción de tumores.

✓ **Expresión de los genes:**

Los estudios de la IARC en lo referente a la expresión de diferentes genes involucrados en la respuesta celular a tratamientos con químicos y otros estreses son largamente negativos aunque hay evidencia que dan indicación de la influencia no térmica sobre la expresión del gen.

✓ **Crecimiento, supervivencia o proliferación celular:**

Los experimentos desarrollados por la IARC sobre síntesis de ADN no demuestran cambios convincentes, coherentes con la proliferación celular bajo condiciones semejantes a las emisiones de estaciones base.

✓ **Genotoxicidad:**

La evidencia mostrada por la IARC en lo referente a la Genotoxicidad sugiere que a temperaturas normales los campos de las estaciones base de telefonía móvil no inducen mutación de células somáticas y reproductoras. Se ha observado rupturas de ADN en animales para líneas celulares sensibles a campos modulados en la banda de 800 MHz.

Los resultados más consistentes vienen de la observación de la formación de micronúcleos, pero no son simples de interpretar y sus implicancias sobre la salud son inciertas.

➤ **Efectos en los sistemas hematológico e inmunológico**

Los niveles térmicos de la exposición a RF tienen efectos en la reducción de los niveles circulantes de linfocitos, niveles incrementados de neutrófilos y alteración de las células asesinas naturales y de la función macrófaga y también se ha reportado un incremento de la respuesta de anticuerpos primarios de linfocitos B. No se han reportado efectos consistentes de la exposición de radiofrecuencia de bajo nivel en las células formadoras de sangre y en las células de sangre circulantes.

➤ **Efectos en el sistema cardiovascular**

Los efectos en el sistema cardiovascular generados por las emisiones electromagnéticas demostradas por la ICNIRP ha comprobado que a cambios de niveles térmicos, se producen cambios cardiovasculares con el incremento de la carga de calor como el incremento del ritmo cardiaco o la respuesta cardiaca junto con la reducción de efectos

de ciertas drogas, tales como los barbitúricos cuya acción puede ser alterada por los cambios circulatorios.

Los estudios elaborados por la ICNIRP en animales, no justifican ninguna preocupación acerca de la influencia de la radiación de radiofrecuencia a los niveles asociados con los teléfonos móviles en el corazón o la circulación. Los estudios en seres humanos no señalan ningún motivo de preocupación por los efectos de los teléfonos móviles sobre el corazón o la circulación. No se ha reportado efectos de la radiofrecuencia de baja potencia sobre el sistema cardiovascular ni sobre la regulación de la presión sanguínea

➤ **Efectos en el desarrollo del feto, malformación, cambios posnatales y fertilidad**

Para exposiciones a campos electromagnéticos que producen más de 1 °C de incremento, pueden ocurrir efectos adversos como retardo del crecimiento del feto, malformación en el desarrollo y cambios posnatales en el comportamiento con efectos más graves a temperaturas maternas mayores. La mayoría de datos en animales indican que es improbable que sean afectados la implantación del embrión y el desarrollo el feto por exposiciones que incrementen la temperatura del cuerpo en menos de 1 °C.

Después de obtener información otorgada por la OMS se sabe que todas las pruebas de efectos negativos acerca de la radiación no ionizante en el cuerpo humano no es relevante sin embargo estos estudios no tienen claras aun las verdaderas consecuencias que producirán en el futuro y además del incremento de temperatura que conlleva a un estrés térmico para las personas el resto de las enfermedades o afecciones son solo hipótesis pero que no pueden ser descartadas por su importancia.



#### **4.5 Evaluación del procedimiento de medición.**

Para realizar las mediciones de las emisiones electromagnéticas se toma en cuenta las recomendaciones otorgadas por la entidad reguladora de la emisiones no ionizantes de telefonía celular en nuestro país la entidad se denomina ARCOTEL y dichas recomendaciones se muestran a continuación.

##### **4.5.1 Aplicación de recomendaciones**

El protocolo de medición a utilizar dependerá de la administración de telecomunicaciones de cada país, en este caso del Ecuador se ha aprobado por el CONATEL mediante Resolución No. 01-01-CONATEL-2005 de 11 de enero de 2005 y publicado en el Registro Oficial No. 536 de 3 de marzo de 2005 que básicamente es aplicable a estaciones radioeléctricas cuya emisión se encuentra en el rango de 9kHz-300GHz.

Según el área de cobertura y para efecto de la medición se tomara en cuenta lo descrito en el REGLAMENTO DE PROTECCIÓN DE EMISIONES DE RADIACIÓN NO IONIZANTE GENERADAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO, reglamento técnico desarrollado por el CONATEL, que en el capítulo V, se refiere a las mediciones y al instrumental utilizado en dichas mediciones, en el artículo 10 que dice textualmente:

“Artículo 10. Procedimiento de Medición. El procedimiento de medición que será aplicado a las estaciones radioeléctricas fijas que operan en el rango de 3 kHz a 300 GHz, con la finalidad de evaluar la conformidad con las disposiciones del presente Reglamento, se lo realizará de acuerdo al Anexo 3 del presente Reglamento.”

Según lo descrito en el Anexo 3:

“Procedimiento:

- 1) Como paso previo a la medición se llevará a cabo un levantamiento visual del lugar de instalación del sistema irradiante, y se tomarán fotografías para dar una vista panorámica del entorno de la antena considerada.
- 2) Se deberá efectuar la medición en los puntos accesibles al público donde la misma sea prácticamente realizable.

- 3) A efectos de evitar posibles acoplamiento capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto.
- 4) Se calculará el punto de frontera entre el campo cercano y el campo lejano al fin de medir:
  - a. En el campo lejano el campo eléctrico E o el campo magnético H.
  - b. En el campo cercano el campo eléctrico E y el campo magnético H.

Considerando que el punto de frontera está dado por el máximo entre:

$$MAX \left( 3\lambda; \frac{2D^2}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Donde:

D: Es el diámetro de la antena. (m)

$\lambda$ : Longitud de onda. (m)”

Según lo recomendado en la norma técnica, se debe establecer un límite para efecto de las mediciones entre el campo lejano y el campo cercano en este caso entre la zona ocupacional y la zona poblacional, como lo muestra la figura 4.2.

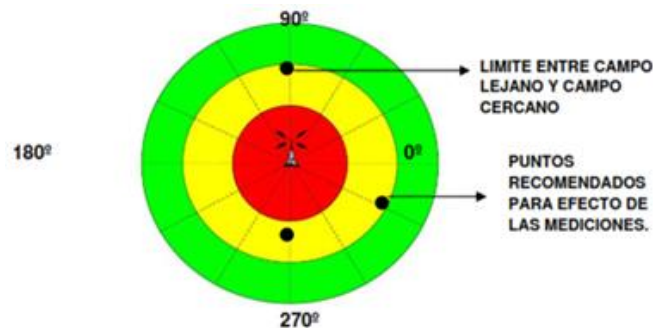


Fig. 4. 2 Campo lejano y cercano

Fuente: [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec)

#### 4.5.2 Método de medición impuesto por ARCOTEL

- 1) El encargado de realizar las medidas correspondientes deberá colocarse en un lugar estratégico y que este cubriendo un área radial cada 30 grados.
- 2) Si el resultado de la medición es superior a los límites establecidos en el reglamento vigente ecuatoriano, se deberá continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
- 3) Para cada uno de los radiales, deberá cubrirse lo establecido en el punto 1.

- 4) Se repetirán los puntos 1, 2 y 3 al fin de determinar la zona de rebasamiento.
- 5) Se tomará la lectura de los valores medidos luego de un periodo de 6 minutos en cada polarización, esto ayudará a la determinación matemática de la Densidad de Potencia.
- 6) Una vez establecidos y cumplidos los límites máximos de exposición, se procederá con el levantamiento de señalización que sea visible al público en general y a los operarios en el caso de la zona de rebasamiento.

#### **4.6 Mediciones de estaciones:**

Procedimiento de medición de la exposición de la población en general a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes que producen las estaciones base.

- Para la elección de puntos es necesario una evaluación de las características geográficas en las cuales están ubicadas las estaciones base.
- Se efectuó las mediciones en puntos accesibles.
- Las mediciones se realizaron en las horas de mayor tráfico o de mayor potencia emitida en horario de 9am - 17pm.
- Los puntos de medición fueron condicionados por la ubicación de los paneles de cobertura de las antenas sectoriales.
- Los puntos de medición dependiendo de la antena, se escogieron entre dos y tres perfiles de acuerdo a la dirección de máxima propagación de las antenas de la estación base ya que cada una cubre 120° en el sector.
- La altura de las mediciones fueron realizadas a 1.5 metros sobre la superficie del suelo.
- Todos los equipos utilizados estuvieron debidamente calibrados y cubrieron toda la banda de interés.
- El tiempo de medición es de 6 minutos en cada punto, con el fin de evitar errores en la medición se tomó en cuenta la calibración automática del equipo en cada una de las mediciones.
- Las distancias para la ejecución de las medidas 5- 10, 10-20, 20-50 y de 50-70 metros como lo ilustra la figura 4.3., en sentido horizontal y radial a partir de la base de la antena.

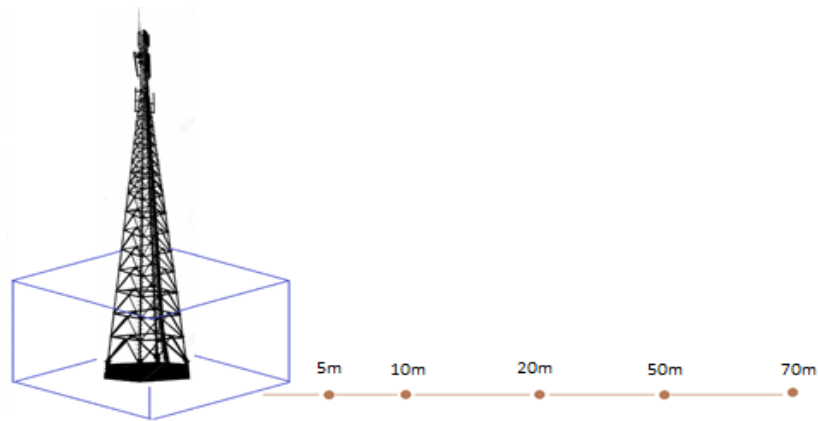


Fig. 4. 3 Esquema de medición

Fuente: Investigadora

- Se procedió a medir en cada punto el campo eléctrico, magnético y densidad de potencia, en las frecuencias de telefonía celular; gracias a las prestaciones de Spectran HF2025E, que es un equipo selectivo.

#### 4.6.1 Elaboración de levantamiento planimétrico

En esta fase se elabora el levantamiento planimétrico del cantón Mera tomando en cuenta el mapa proporcionado por Google Earth, en el mismo están ubicadas las estaciones base como se muestra en la figura 4.4, las cuales serán motivo de estudio en el desarrollo del proyecto.

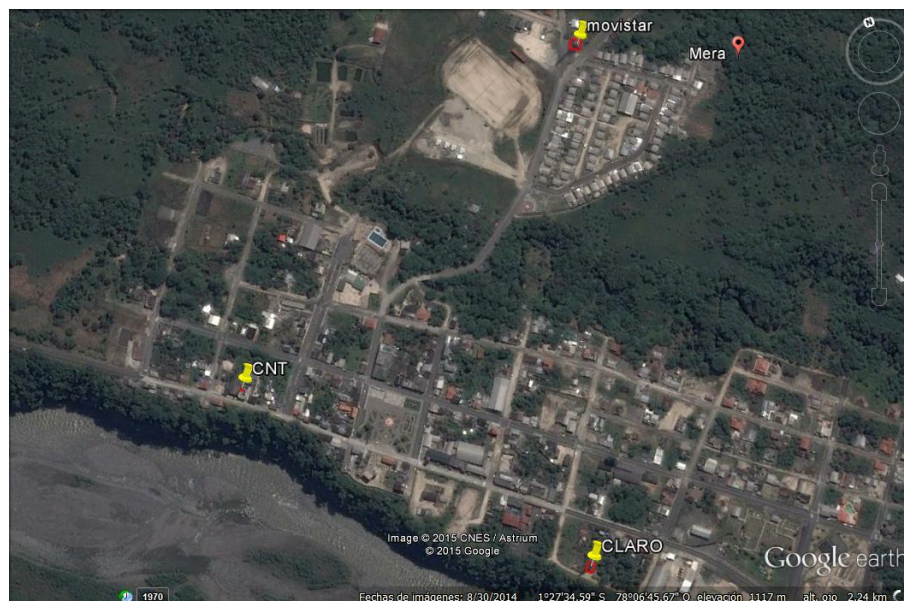


Fig. 4. 4 Ubicación de estaciones base en el cantón Mera

Fuente: Google Earth

En la Figura 4.5., se presenta el levantamiento planimétrico realizado en el Software AutoCAD.

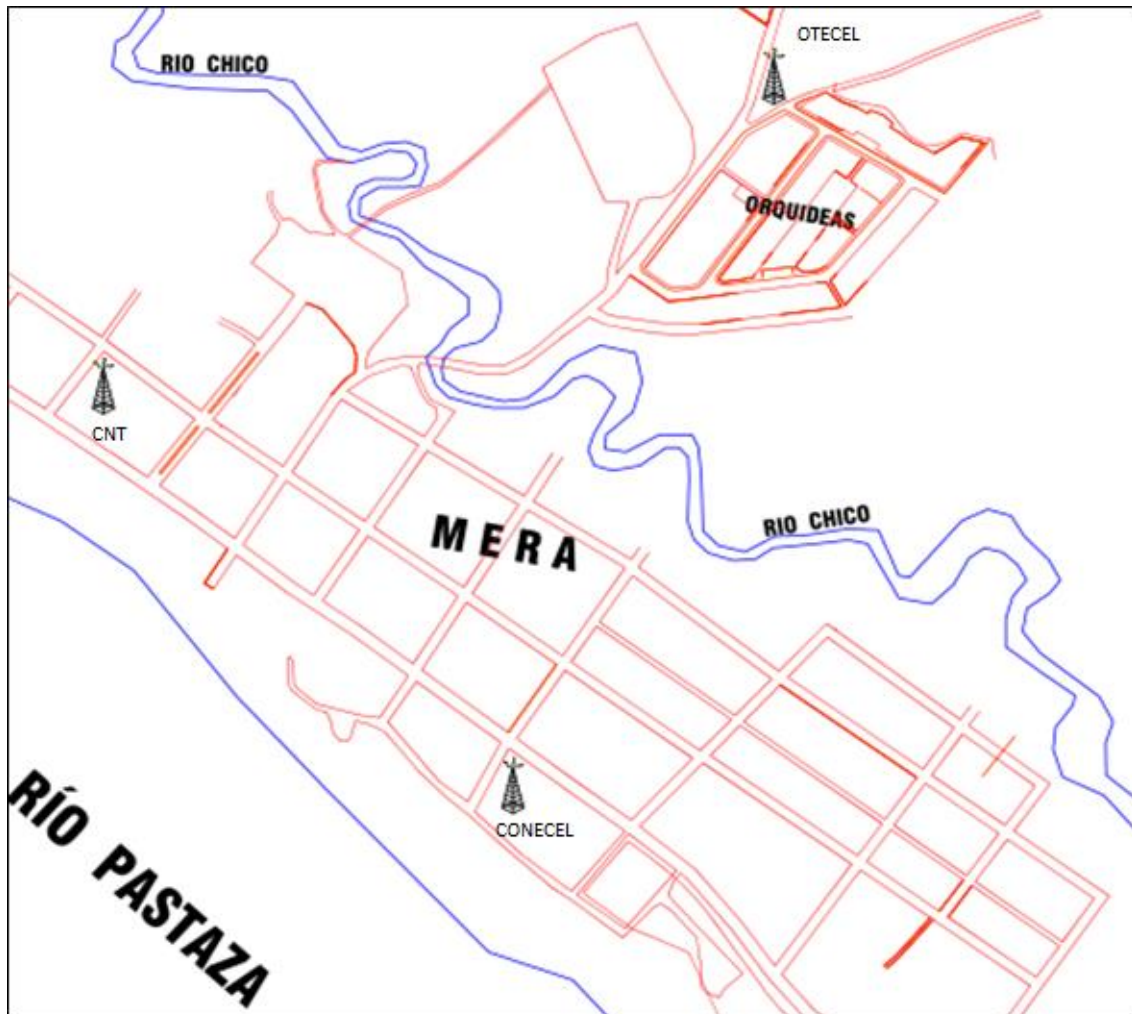


Fig. 4. 5 Levantamiento planimétrico del cantón Mera

Fuente: Investigadora

➤ **Estación base de la operadora Conecel (Claro)**

Funciona con tecnología GSM y frecuencia de operación de 870-880 MHz, en la Figura 4.6., se muestra la ubicación de dicha estación entre la Avenida Luis A. Martínez y calle Bolívar.

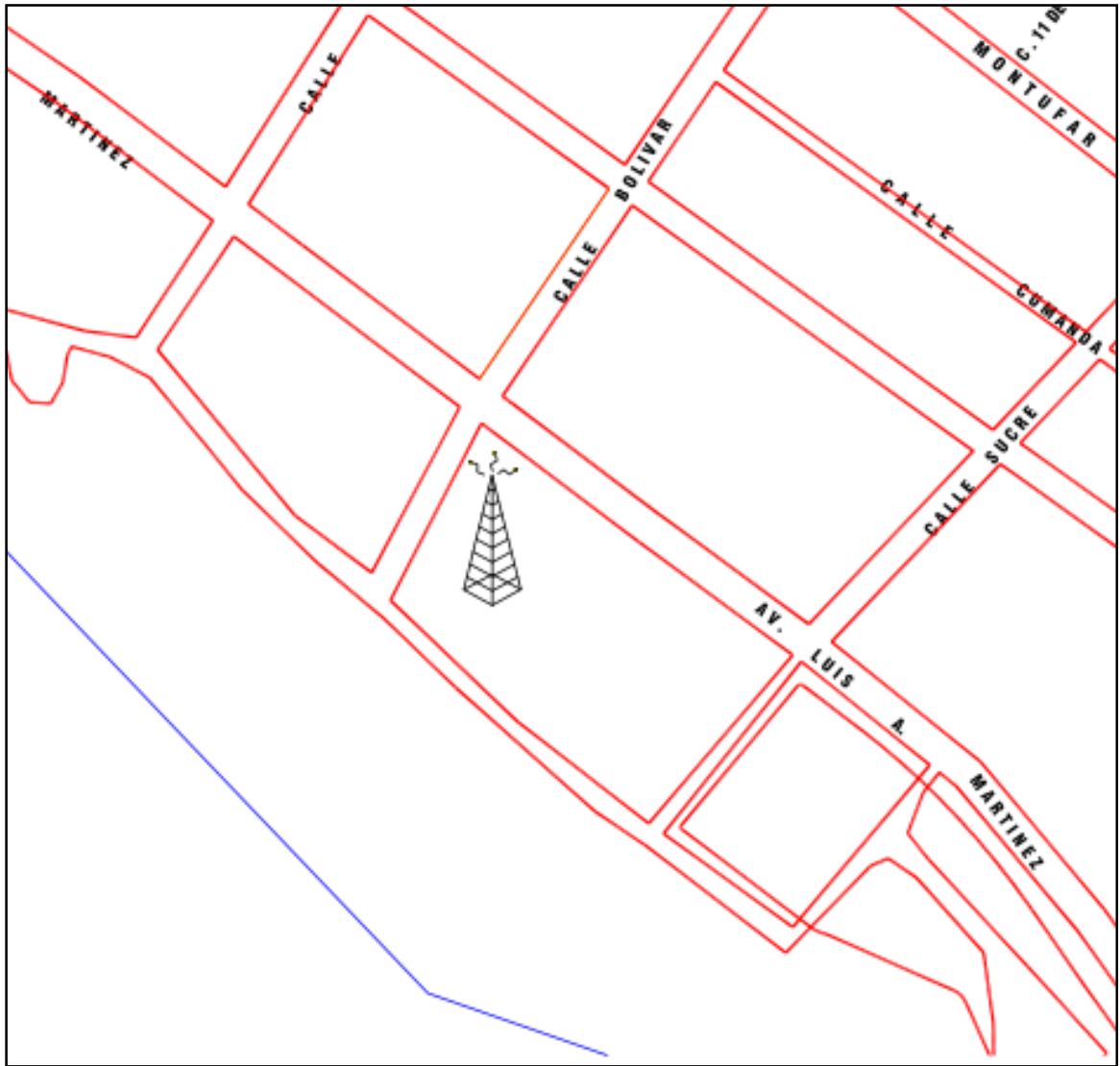


Fig. 4. 6 Estación Base de operadora CONECEL

Fuente: Investigadora

➤ **Estación base de la operadora Otecel (Movistar)**

Su frecuencia de operación 880-890 MHz y tecnología GSM, se muestra en la figura 4.7 la ubicación base se en el Barrio las Orquídeas entre la calle la Colonia 24 de Mayo y vía al complejo Rio Tigre.



Fig. 4. 7 Estación Base de operadora OTECEL

Fuente: Investigadora

➤ **Estación base de la operadora CNT EP**

Funciona con tecnología UMTS a una frecuencia de 1975-1990 MHz y está ubicada en el sector urbano Mera y en la Avenida Luis A. Martínez entre las calles García Moreno y Guayaquil como se puede observar en la figura 4.8.

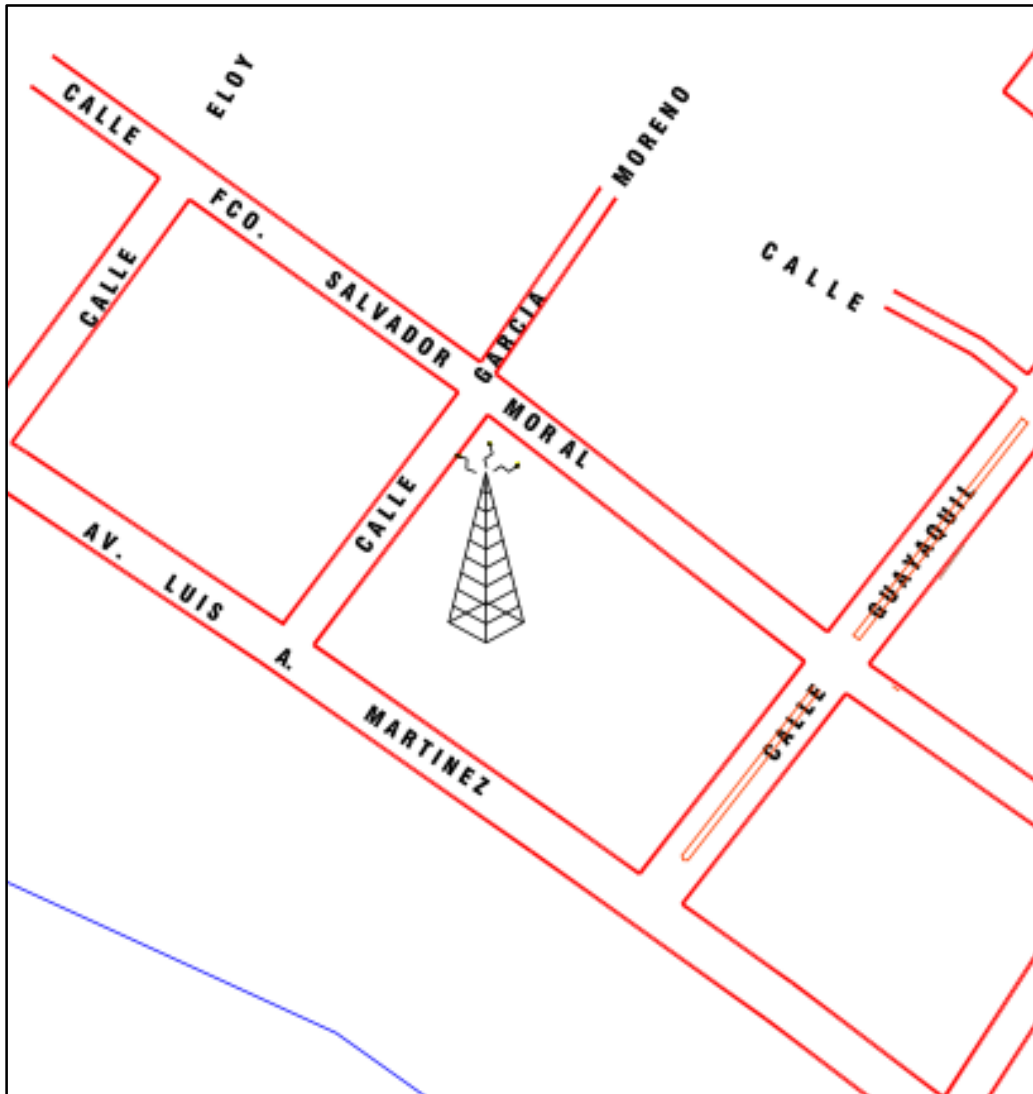


Fig. 4. 8 Estación Base de operadora CNT E.P

Fuente: Investigadora



## 4.7 Realización de medición de campos electromagnéticos.

### 4.7.1 Punto 1 (CLARO)

Para las mediciones de campos electromagnéticos de la estación base de la operadora Otecel se lo realizo en primer lugar tomando en cuenta las coordenadas de la ubicación de la estación base la cual es Latitud  $1^{\circ}27'47.60''S$  y Longitud  $78^{\circ} 6'44.02''O$  y la cual está ubicada Av. Luis A. Martínez entre García Moreno y Guayaquil. Después se escoge los puntos que serán utilizados para realizar las mediciones las cuales se ilustran en la figura 4.9.

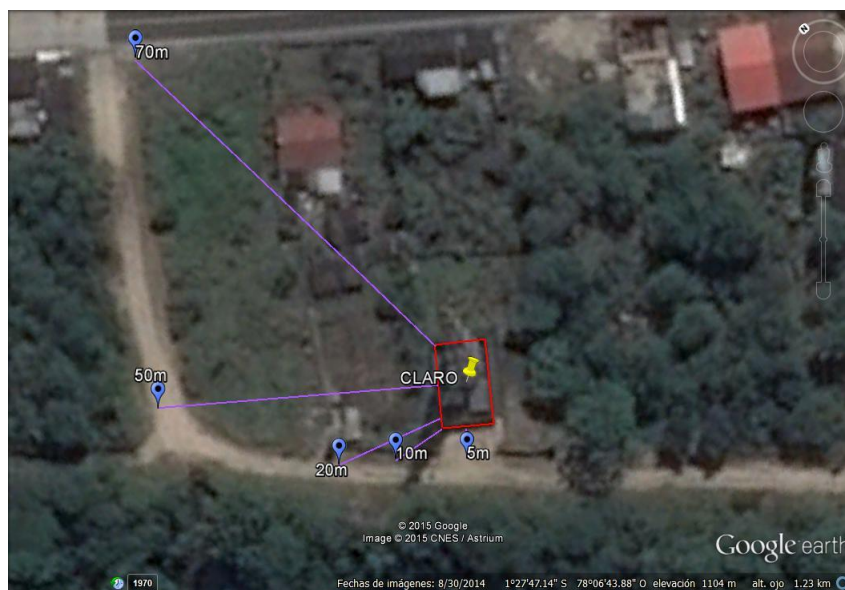


Fig. 4. 9 Diagrama de puntos de mediciones

Fuente: Investigadora basado en Google Earth

En la tabla 4.5 se representa las distancias a las que fueron tomadas las mediciones electromagnéticas, la sub-banda a la que pertenecen, el rango de frecuencias y cada una de las coordenadas de los puntos de medición.

Tabla 4. 5 Representación de puntos de medición

MEDICIÓN N°	DISTANCIA	SUB-BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS		LATITUD	LOGITUD
1	5m	CLARO_A_DOWN	870	880	$1^{\circ}27'47.92''S$	$78^{\circ} 6'44.29''O$
2	10m	CLARO_A_DOWN	870	880	$1^{\circ}27'47.64''S$	$78^{\circ} 6'44.61''O$
3	20m	CLARO_A_DOWN	870	880	$1^{\circ}27'47.45''S$	$78^{\circ} 6'44.88''O$
4	50m	CLARO_A_DOWN	870	880	$1^{\circ}27'46.53''S$	$78^{\circ} 6'45.45''O$
5	70m	CLARO_A_DOWN	870	880	$1^{\circ}27'45.06''S$	$78^{\circ} 6'44.28''O$

Fuente: Investigadora

En la figura 4.10 se muestra el momento en que se realizó la medidas de los campos electromagnéticos a las distancia de 5m de la estación base.



Fig. 4. 10 Medición a 5m de estación

Fuente: Investigadora

También en la figura 4.11 se aprecia el momento en que realizo las mediciones de los campos electromagnéticos a una distancia de 50m de la estación base.



Fig. 4. 11 Medición a 50m de la estación base.

Fuente: Investigadora

La figura 4.12 muestra la antenas ubicadas en la torre de la operadora Conecel estas son antenas sectoriales que cuentan con un arreglo de tres antenas cada una ocupa un ángulo de 120°, cubriendo de esta manera el radio de 360 grados. Esto con el fin de brindar mayor cobertura a todas las direcciones.



Fig. 4. 12 Variación de campo eléctrico de Claro

Fuente: Investigadora

Además en la figura se aprecia que se usa antenas sectoriales AirMax Base Station Ubiquiti 2G15-120. De los cuales podemos observar con mayor detalle sus especificaciones técnicas en el anexo 1.

Cada una de las tablas mostradas a continuación representan las mediciones de los campos electromagnéticos tomadas en los meses Junio Julio y Agosto, cada una de ellas consta con la información del campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia y cada una con la respectiva fecha de recolección de sus datos.

LUNES 01/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,417000000	0,008310000	0,003465270
10m	0,180800000	0,003197000	0,000578018
20m	0,078290000	0,000959500	0,000075119
50m	0,052000000	0,000225000	0,000011700
70m	0,060200000	0,000160000	0,000009632

MIÉRCOLES 03/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,674000000	0,003678000	0,002478972
10m	0,190000000	0,005050000	0,000959500
20m	0,912000000	0,000318000	0,000290016
50m	0,034700000	0,000921000	0,000031959
70m	0,047800000	0,000127000	0,000006071

## VIERNES 05/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,713000000	0,002047100	0,001459582
10m	0,477410000	0,001267000	0,000604878
20m	0,021300000	0,000566000	0,000012056
50m	0,047469000	0,000125920	0,000005977
70m	0,038000000	0,000101000	0,000003838

## DOMINGO 07/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,675000000	0,001790000	0,001208250
10m	0,069020000	0,000183080	0,000012636
20m	0,039200000	0,000457000	0,000017914
50m	0,061525000	0,000263200	0,000016193
70m	0,042080000	0,000117000	0,000004923

## MARTES 09/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,781130000	0,002072000	0,001618501
10m	0,126040000	0,003343300	0,000421390
20m	0,048288000	0,000280900	0,000013564
50m	0,067500000	0,000179000	0,000012083
70m	0,047800000	0,000127000	0,000006071

## JUEVES 11/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,202000000	0,087100000	0,017594200
10m	0,302000000	0,008430000	0,002545860
20m	0,042580000	0,000378200	0,000016104
50m	0,071210000	0,000185700	0,000013224
70m	0,012750000	0,000342000	0,000004361

## LUNES 15/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,824400000	0,002640000	0,002176416
10m	0,493800000	0,008120000	0,004009656
20m	0,253600000	0,000973400	0,000246854
50m	0,078291000	0,000364000	0,000028498
70m	0,042500000	0,000534000	0,000022695

## MIÉRCOLES 17/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,249500000	0,096300000	0,024026850
10m	0,982400000	0,006290000	0,006179296
20m	0,120400000	0,003433000	0,000413333
50m	0,084400000	0,000742100	0,000062633
70m	0,082400000	0,000915300	0,000075421

## SABADO 20/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,569000000	0,002913000	0,001657497
10m	0,495200000	0,007234000	0,003582277
20m	0,132840000	0,006898500	0,000916397
50m	0,021350000	0,000566400	0,000012093
70m	0,026900000	0,000713000	0,000019180

## MIÉRCOLES 24/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,824000000	0,091700000	0,075560800
10m	0,862000000	0,008205000	0,007072710
20m	0,094200000	0,003420000	0,000322164
50m	0,074200000	0,000924000	0,000068561
70m	0,033840000	0,000898500	0,000030405

## SABADO 27/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,182450000	0,072400000	0,013209380
10m	0,418000000	0,005320000	0,002223760
20m	0,095400000	0,000253000	0,000024136
50m	0,042650000	0,000811300	0,000034602
70m	0,039500000	0,000128000	0,000005056

## MARTES 30/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,249500000	0,004080000	0,001017960
10m	0,982400000	0,006290000	0,006179296
20m	0,352000000	0,000917200	0,000322854
50m	0,084400000	0,000742100	0,000062633
70m	0,058500000	0,000225000	0,000013163

VIERNES 03/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,375000000	0,097430000	0,036536250
10m	0,836000000	0,001650000	0,001379400
20m	0,084200000	0,004217000	0,000355071
50m	0,086400000	0,000275000	0,000023760
70m	0,050300000	0,001900000	0,000095570

LUNES 06/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,175000000	0,057200000	0,010010000
10m	0,750000000	0,009430000	0,007072500
20m	0,168000000	0,004240000	0,000712320
50m	0,074200000	0,000963000	0,000071455
70m	0,083200000	0,000294000	0,000024461

MARTES 07/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,956000000	0,003200000	0,003059200
10m	0,325000000	0,001350000	0,000438750
20m	0,053400000	0,000422000	0,000022535
50m	0,065450000	0,000321000	0,000021009
70m	0,076000000	0,000548000	0,000041648

VIERNES 10/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,530000000	0,004320000	0,002289600
10m	0,510000000	0,008620000	0,004396200
20m	0,061400000	0,006020000	0,000369628
50m	0,081400000	0,000163200	0,000013284
70m	0,074100000	0,000645400	0,000047824

DOMINGO 12/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,675000000	0,004620000	0,003118500
10m	0,478000000	0,002010000	0,000960780
20m	0,083700000	0,000453000	0,000037916
50m	0,034600000	0,000365000	0,000012629
70m	0,011000000	0,000643000	0,000007073

JUEVES 16/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,578000000	0,096000000	0,055488000
10m	0,610000000	0,008250000	0,005032500
20m	0,085000000	0,001490000	0,000126650
50m	0,032100000	0,000940000	0,000030174
70m	0,012300000	0,000674000	0,000008290

SABADO 18/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,824400000	0,009200000	0,007584480
10m	0,193800000	0,006812000	0,001320166
20m	0,078291000	0,000836400	0,000065483
50m	0,025360000	0,000973400	0,000024685
70m	0,042500000	0,000534000	0,000022695

LUNES 20/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,934000000	0,003510000	0,003278340
10m	0,224000000	0,004200000	0,000940800
20m	0,042500000	0,000835000	0,000035488
50m	0,013200000	0,000954000	0,000012593
70m	0,085300000	0,000482000	0,000041115

MARTES 21/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,933000000	0,001340000	0,001250220
10m	0,321000000	0,002350000	0,000754350
20m	0,029400000	0,000864000	0,000025402
50m	0,095300000	0,000456200	0,000043476
70m	0,024600000	0,000352000	0,000008659

VIERNES 24/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,742000000	0,092450000	0,068597900
10m	0,420000000	0,003420000	0,001436400
20m	0,945600000	0,000361000	0,000341362
50m	0,075400000	0,000310000	0,000023374
70m	0,064800000	0,000947000	0,000061366

LUNES 27/07/2015

MIÉRCOLES 29/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,528000000	0,006420000	0,003389760
10m	0,860000000	0,004270000	0,003672200
20m	0,029340000	0,009319000	0,000273419
50m	0,012300000	0,000975000	0,000011993
70m	0,015300000	0,000538000	0,000008231

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,531000000	0,009460000	0,005023260
10m	0,317000000	0,006420000	0,002035140
20m	0,073600000	0,000641000	0,000047178
50m	0,044100000	0,000830000	0,000036603
70m	0,017300000	0,000514000	0,000008892

SÁBADO 01/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,275000000	0,092600000	0,025465000
10m	0,428000000	0,007493000	0,003207004
20m	0,087236000	0,009650000	0,000841827
50m	0,095400000	0,000742000	0,000070787
70m	0,063900000	0,000853300	0,000054526

MARTES 04/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,283000000	0,098300000	0,027818900
10m	0,748000000	0,003300000	0,002468400
20m	0,842000000	0,007420000	0,006247640
50m	0,032700000	0,000627000	0,000020503
70m	0,084100000	0,000582000	0,000048946

VIERNES 07/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,781000000	0,004200000	0,003280200
10m	0,325000000	0,002840000	0,000923000
20m	0,923000000	0,000592000	0,000546416
50m	0,014800000	0,000939200	0,000013900
70m	0,042900000	0,000859000	0,000036851

LUNES 10/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,438200000	0,093200000	0,040840240
10m	0,283000000	0,007430000	0,002102690
20m	0,074800000	0,002340000	0,000175032
50m	0,092300000	0,000472000	0,000043566
70m	0,038200000	0,000692300	0,000026446

MIÉRCOLES 12/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,843000000	0,091270000	0,076940610
10m	0,234000000	0,008950000	0,002094300
20m	0,069400000	0,002840000	0,000197096
50m	0,073400000	0,000482000	0,000035379
70m	0,094500000	0,000294000	0,000027783

SABADO 15/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,183400000	0,099400000	0,018229960
10m	0,384500000	0,007830000	0,003010635
20m	0,743400000	0,006380000	0,004742892
50m	0,052940000	0,000596000	0,000031552
70m	0,089500000	0,000386000	0,000034547

MARTES 18/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,916500000	0,002950000	0,002703675
10m	0,784000000	0,003820000	0,002994880
20m	0,058340000	0,009593000	0,000559656
50m	0,038500000	0,000748000	0,000028798
70m	0,097520000	0,000283000	0,000027598

JUEVES 20/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,783000000	0,002940000	0,002302020
10m	0,599000000	0,004920000	0,002947080
20m	0,083920000	0,009810000	0,000823255
50m	0,092800000	0,000849200	0,000078806
70m	0,038400000	0,000921300	0,000035378

DOMINGO 23/08/2015				MARTES 25/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)	DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,295000000	0,094800000	0,027966000	5m	0,184000000	0,098340000	0,018094560
10m	0,467000000	0,007230000	0,003376410	10m	0,394800000	0,007834000	0,003092863
20m	0,463200000	0,005390000	0,002496648	20m	0,284000000	0,006830000	0,001939720
50m	0,080940000	0,000384000	0,000031081	50m	0,058300000	0,000983400	0,000057332
70m	0,094300000	0,000193400	0,000018238	70m	0,079850000	0,000638000	0,000050944

JUEVES 27/08/2015				DOMINGO 30/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)	DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,934100000	0,007500000	0,007005750	5m	0,265000000	0,006590000	0,001746350
10m	0,783400000	0,005830000	0,004567222	10m	0,576300000	0,008903000	0,005130799
20m	0,059570000	0,009895000	0,000589445	20m	0,199600000	0,004860000	0,000970056
50m	0,069230000	0,000287400	0,000019897	50m	0,059400000	0,000795000	0,000047223
70m	0,018290000	0,000475000	0,000008688	70m	0,072970000	0,000998000	0,000072824

En la figura 4.13 se representa la variación del campo eléctrico a distintas distancias a las que fueron tomadas las mediciones.

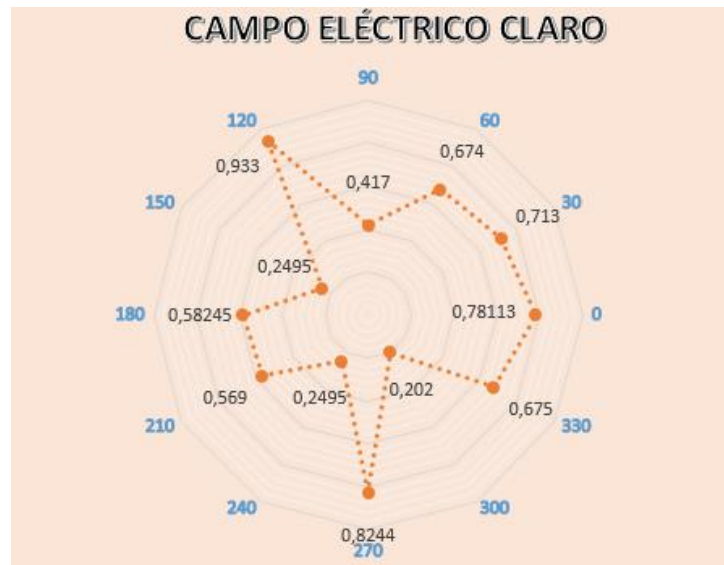


Fig. 4. 13 Variación de campo eléctrico de Claro

Fuente: Investigadora

#### 4.7.2 Punto 2 (MOVISTAR)

Para las mediciones de campos electromagnéticos de la estación base de la operadora Conecel se lo realizo en tomando en cuenta las coordenadas de la ubicación de la estación base la cual es Latitud 1°27'24.16"S y Longitud 78° 6'36.18"O y que está

ubicada Av. Entre calle la Colonia 24 de Mayo y vía al complejo Rio Tigre y se escoge los puntos que serán utilizados para realizar las mediciones las cuales se ilustran en la figura 4.14.

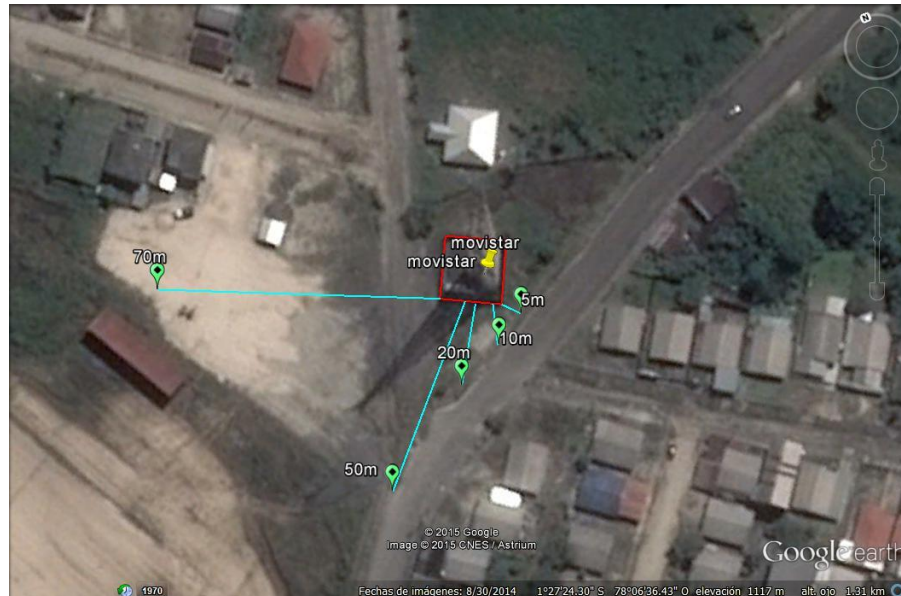


Fig. 4. 14 Diagrama de puntos de mediciones

Fuente: Investigadora

En la tabla 4.6 se representa las distancias a las que fueron tomadas las mediciones electromagnéticas, la sub-banda a la que pertenecen, el rango de frecuencias y cada una de las coordenadas de los puntos de medición.

Tabla 4. 6 Representación de puntos de medición

MEDICIÓN N°	DISTANCIA	SUB-BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)		LATITUD	LOGITUD
1	5m	MOVI_B_DOWN	880	890	1°27'24.55"S	78° 6'36.03"O
2	10m	MOVI_B_DOWN	880	890	1°27'24.71"S	78° 6'36.28"O
3	20m	MOVI_B_DOWN	880	890	1°27'24.91"S	78° 6'36.68"O
4	50m	MOVI_B_DOWN	880	890	1°27'25.49"S	78° 6'37.51"O
5	70m	MOVI_B_DOWN	880	890	1°27'23.29"S	78° 6'38.65"O

Fuente: Investigadora

En la figura 4.15 observa el momento en que se realizó las medidas de los campos electromagnéticos a las distancia de 10m de la estación base de la operadora Concel.





Fig. 4. 15 Medición a 10m de estación base

Fuente: Investigadora

De igual forma en la figura 4.16 se ilustra la fotografía de la estación base de la operado Conecel tomada a los 70m de distancia con respecto a la estación.



Fig. 4. 16 Diagrama de mediciones

Fuente: Investigadora

La figura 4.17 ilustra las antenas ubicadas en la torre de la operadora Otecel estas son antenas sectoriales que cuentan con un arreglo de tres antenas cada una ocupa un ángulo de 120°, cubriendo de esta manera el radio de 360 grados. Esto con el fin de brindar mayor cobertura a todas las direcciones.

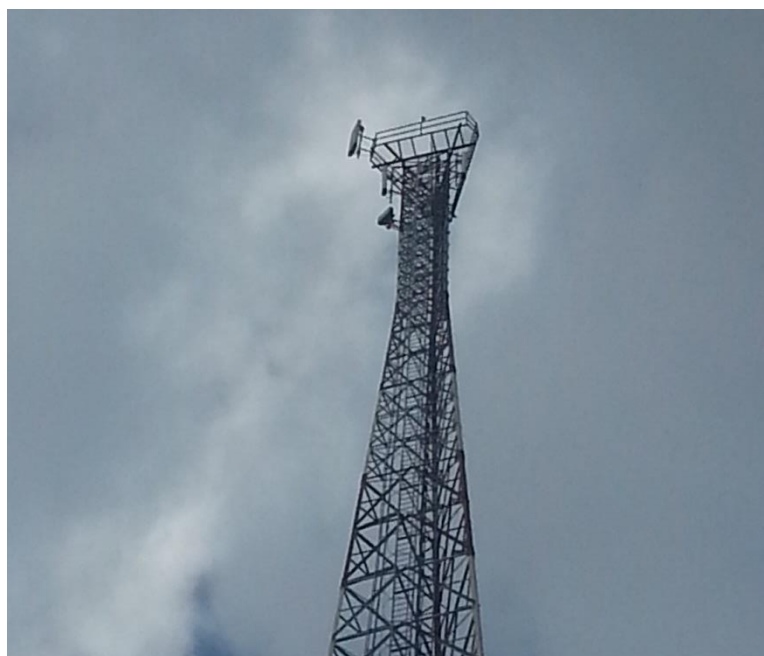


Fig. 4. 17 Diagrama de mediciones

Fuente: Investigadora

Las antenas utilizadas por la estación base de la operadora Otecel, consta de un arreglo de tres antenas 742 265 XX-POL Dual Band, se puede apreciar sus características técnicas en el anexo 2.

Cada una de las tablas mostradas a continuación representan las mediciones de los campos electromagnéticos tomadas en los meses Junio Julio y Agosto, la cual consta con la información del campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia y cada una con la respectiva fecha de recolección de sus datos.

LUNES 01/06/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,192000000	0,007820000	0,001501440
10m	0,543000000	0,001440000	0,000781920
20m	0,026900000	0,000713000	0,000019180
50m	0,034700000	0,000320000	0,000011104
70m	0,050406000	0,000133800	0,000006744

MIERCOLES 03/06/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,332680000	0,008830000	0,002937564
10m	0,426000000	0,001130000	0,000481380
20m	0,031500000	0,000835000	0,000026303
50m	0,056000000	0,000751000	0,000042056
70m	0,012300000	0,000276000	0,000003395

## VIERNES 05/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,213000000	0,005560000	0,001184280
10m	0,823800000	0,002180000	0,001795884
20m	0,059570000	0,001580000	0,000094121
50m	0,046780000	0,000918800	0,000042981
70m	0,055414000	0,000147100	0,000008151

## DOMINGO 07/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,240000000	0,096350000	0,023124000
10m	0,357350000	0,009485600	0,003389679
20m	0,078230000	0,002185000	0,000170933
50m	0,065760000	0,000457300	0,000030072
70m	0,018900000	0,000145000	0,000002741

## MARTES 09/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,217000000	0,009570000	0,002076690
10m	0,170000000	0,004500000	0,000765000
20m	0,075660000	0,000200700	0,000015185
50m	0,058000000	0,000112000	0,000006496
70m	0,014600000	0,000388200	0,000005668

## JUEVES 11/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,338000000	0,008980000	0,003035240
10m	0,480080000	0,001274000	0,000611622
20m	0,021000000	0,000933560	0,000019605
50m	0,042449000	0,000649600	0,000027575
70m	0,057360000	0,000152100	0,000008724

## LUNES 15/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,720100000	0,005924000	0,004265872
10m	0,945350000	0,002357000	0,002228190
20m	0,026900000	0,009424000	0,000253506
50m	0,032940000	0,000724600	0,000023868
70m	0,094240000	0,000862300	0,000081263

## MIÉRCOLES 17/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,723900000	0,092020000	0,066613278
10m	0,729400000	0,008427490	0,006147011
20m	0,038100000	0,008273000	0,000315201
50m	0,082400000	0,000423200	0,000034872
70m	0,092451000	0,000726500	0,000067166

## SABADO 20/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,194000000	0,008410000	0,001631540
10m	0,442000000	0,006420000	0,002837640
20m	0,072900000	0,000931000	0,000067870
50m	0,057240000	0,000310000	0,000017744
70m	0,039200000	0,000451000	0,000017679

## MIÉRCOLES 24/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,642000000	0,002490000	0,001598580
10m	0,182300000	0,004964000	0,000904937
20m	0,080200000	0,000284000	0,000022777
50m	0,039100000	0,000942000	0,000036832
70m	0,074200000	0,000103400	0,000007672

## SABADO 27/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,183000000	0,009833000	0,001799439
10m	0,314000000	0,000849200	0,000266649
20m	0,028100000	0,000511400	0,000014370
50m	0,079120000	0,000972000	0,000076905
70m	0,032800000	0,000219000	0,000007183

## MARTES 30/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,410000000	0,007310000	0,002997100
10m	0,743000000	0,008410000	0,006248630
20m	0,095200000	0,000194300	0,000018497
50m	0,039100000	0,000804000	0,000031436
70m	0,072500000	0,000051500	0,000003734

## VIERNES 03/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,329000000	0,008630000	0,002839270
10m	0,642000000	0,001460000	0,000937320
20m	0,098400000	0,000173000	0,000017023
50m	0,068300000	0,000197000	0,000013455
70m	0,078200000	0,000095300	0,000007452

## LUNES 06/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,853000000	0,002930000	0,002499290
10m	0,146000000	0,006420000	0,000937320
20m	0,092140000	0,000787400	0,000072551
50m	0,076200000	0,000219000	0,000016688
70m	0,058300000	0,000019620	0,000001144

## MARTES 07/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,185000000	0,007380000	0,001365300
10m	0,528000000	0,000391000	0,000206448
20m	0,039200000	0,000893000	0,000035006
50m	0,085900000	0,000148000	0,000012713
70m	0,019000000	0,000248000	0,000004712

## VIERNES 10/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,341000000	0,074800000	0,025506800
10m	0,837000000	0,001850000	0,001548450
20m	0,012900000	0,009820000	0,000126678
50m	0,059300000	0,000213600	0,000012666
70m	0,014500000	0,000693000	0,000010049

## DOMINGO 12/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,813800000	0,003940000	0,003206372
10m	0,135000000	0,005890000	0,000795150
20m	0,032900000	0,000963000	0,000031683
50m	0,059200000	0,000482000	0,000028534
70m	0,015700000	0,000382000	0,000005997

## JUEVES 16/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,164000000	0,007350000	0,001205400
10m	0,742000000	0,003180000	0,002359560
20m	0,518000000	0,000963000	0,000498834
50m	0,028400000	0,000847000	0,000024055
70m	0,085400000	0,000173000	0,000014774

## SABADO 18/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,746000000	0,091840000	0,068512640
10m	0,890000000	0,002480000	0,002207200
20m	0,248000000	0,000839000	0,000208072
50m	0,080300000	0,000240000	0,000019272
70m	0,053900000	0,000185000	0,000009972

## LUNES 20/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,732000000	0,001460000	0,001068720
10m	0,439000000	0,008631000	0,003789009
20m	0,063900000	0,000232000	0,000014825
50m	0,036300000	0,000840000	0,000030492
70m	0,018300000	0,000539000	0,000009864

## MARTES 21/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,494000000	0,087400000	0,043175600
10m	0,972000000	0,002840000	0,002760480
20m	0,249000000	0,000984000	0,000245016
50m	0,052100000	0,000219000	0,000011410
70m	0,017300000	0,000493000	0,000008529

## VIERNES 24/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,539000000	0,009270000	0,004996530
10m	0,148000000	0,003870000	0,000572760
20m	0,087100000	0,000264000	0,000022994
50m	0,064200000	0,000174000	0,000011171
70m	0,012480000	0,000487000	0,000006078

## LUNES 27/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,395000000	0,008320000	0,003286400
10m	0,143000000	0,005390000	0,000770770
20m	0,089300000	0,000413000	0,000036881
50m	0,053900000	0,000912000	0,000049157
70m	0,027200000	0,000163900	0,000004458

## MIÉRCOLES 29/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,495000000	0,008350000	0,004133250
10m	0,734000000	0,001460000	0,001071640
20m	0,096400000	0,000128400	0,000012378
50m	0,035100000	0,000982000	0,000034468
70m	0,097600000	0,000329000	0,000032110

## SÁBADO 01/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,395000000	0,097800000	0,038631000
10m	0,537000000	0,008570000	0,004602090
20m	0,076400000	0,004176000	0,000319046
50m	0,098600000	0,000596000	0,000058766
70m	0,019340000	0,000784000	0,000015163

## MARTES 04/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,730000000	0,048300000	0,035259000
10m	0,528700000	0,007850000	0,004150295
20m	0,127400000	0,002840000	0,000361816
50m	0,016540000	0,000925000	0,000015300
70m	0,049670000	0,000768400	0,000038166

## VIERNES 07/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,000000000	0,099900000	0,099900000
10m	0,890000000	0,002740000	0,002438600
20m	0,058300000	0,009857000	0,000574663
50m	0,068720000	0,000321000	0,000022059
70m	0,079910000	0,000548000	0,000043791

## LUNES 10/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,054000000	0,009856000	0,010388224
10m	0,238000000	0,007568000	0,001801184
20m	0,036580000	0,009570000	0,000350071
50m	0,045930000	0,000837400	0,000038462
70m	0,083650000	0,000528300	0,000044192

## MIÉRCOLES 12/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,006000000	0,095630000	0,096203780
10m	0,968400000	0,002957000	0,002863559
20m	0,075340000	0,005867000	0,000442020
50m	0,057380000	0,000328000	0,000018821
70m	0,038570000	0,001844000	0,000071123

## SABADO 15/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,219000000	0,097850000	0,021429150
10m	0,447500000	0,007463000	0,003339693
20m	0,693700000	0,001386000	0,000961468
50m	0,070980000	0,000486000	0,000034496
70m	0,053950000	0,000218300	0,000011777

## MARTES 18/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,632000000	0,089300000	0,145737600
10m	1,045000000	0,042900000	0,044830500
20m	0,348000000	0,008570000	0,002982360
50m	0,827300000	0,000427400	0,000353588
70m	0,018390000	0,000746000	0,000013719

## JUEVES 20/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,987300000	0,097340000	0,096103782
10m	0,736000000	0,004830000	0,003554880
20m	0,598300000	0,002948000	0,001763788
50m	0,053800000	0,009945000	0,000535041
70m	0,024980000	0,000736000	0,000018385

DOMINGO 23/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,043800000	0,099850000	0,104223430
10m	1,002000000	0,009990000	0,010009980
20m	0,654000000	0,008230000	0,005382420
50m	0,129400000	0,004800000	0,000621120
70m	0,028400000	0,000398200	0,000011309

MARTES 25/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,037600000	0,099300000	0,103033680
10m	0,998000000	0,084600000	0,084430800
20m	0,786000000	0,005960000	0,004684560
50m	0,284000000	0,005940000	0,001686960
70m	0,149300000	0,003590000	0,000535987

JUEVES 27/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,000900000	0,098500000	0,098588650
10m	0,973000000	0,002120000	0,002062760
20m	0,754000000	0,005430000	0,004094220
50m	0,398000000	0,006870000	0,002734260
70m	0,099700000	0,000372000	0,000037088

DOMINGO 30/08/2015			
DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,978000000	0,073800000	0,072176400
10m	0,873000000	0,005870000	0,005124510
20m	0,660900000	0,003760000	0,002484984
50m	0,176000000	0,003200000	0,000563200
70m	0,027800000	0,000598000	0,000016624

En la figura 4.18 se representa la variación del campo eléctrico a distintas distancias a las que fueron tomadas las mediciones.

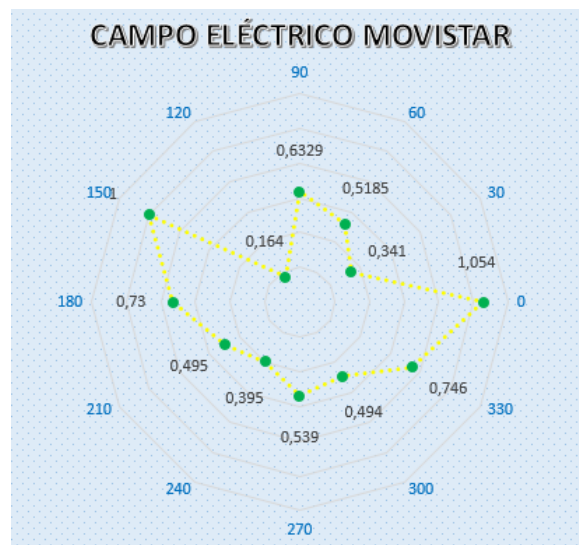


Fig. 4. 18. Promedio de campo eléctrico Movistar

Fuente: Investigadora

### 4.7.3 Punto 3 (CNT)

Para las mediciones de campos electromagnéticos de la estación base de la operadora Concel se lo realizo en tomando en cuenta las coordenadas de la ubicación de la estación base la cual es Latitud 1°27'24.16"S y Longitud 78° 6'36.18"O y que está

ubicada Av. Entre calle la Colonia 24 de Mayo y vía al complejo Rio Tigre y se escoge los puntos que serán utilizados para realizar las mediciones las cuales se ilustran en la figura 4.19.



Fig. 4. 19. Diagrama de puntos de mediciones

Fuente: Investigadora

En la tabla 4.7 se representa las distancias a las que fueron tomadas las mediciones electromagnéticas, la sub-banda a la que pertenecen, el rango de frecuencias y cada una de las coordenadas de los puntos de medición.

Tabla 4. 7 Representación de puntos de medición

MEDICIÓN N°	DISTANCIA	SUB-BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)		LATITUD	LOGITUD
1	5m	CNT_C_DOWN	1975	1990	1°27'34.71"S	78° 6'56.71"O
2	10m	CNT_C_DOWN	1975	1990	1°27'35.04"S	78° 6'56.85"O
3	20m	CNT_C_DOWN	1975	1990	1°27'35.39"S	78° 6'56.96"O
4	50m	CNT_C_DOWN	1975	1990	1°27'36.32"S	78° 6'55.72"O
5	70m	CNT_C_DOWN	1975	1990	1°27'35.15"S	78° 6'54.20"O

Fuente: Investigadora

En la figura 4.20 se observa el momento en que se realizó las medidas de los campos electromagnéticos a las distancia de 20m de la estación base de la operadora CNT.



Fig. 4. 20 Medición a 20m de estación base

Fuente: Investigadora

De igual manera en la figura 4.21 se ilustra la fotografía de la estación base de la operadora CNT tomada a los 5m de distancia con respecto a la estación.



Fig. 4. 21 Diagrama de mediciones CNT

Fuente: Investigadora



La figura 4.22 se muestra las antenas ubicadas en la torre de la operadora CNT estas son antenas sectoriales que cuentan con un arreglo de tres antenas cada una ocupa un ángulo de 120°, cubriendo de esta manera el radio de 360 grados. Esto con el fin de brindar mayor cobertura a todas las direcciones.



Fig. 4. 22 Antenas de CNT

Fuente: Investigadora

Las antenas utilizadas por la estación base de la operadora CNT consta de un arreglo de tres antenas Marca KATHREIN 800 10302 X-Polarized, se puede apreciar las características técnicas en el anexo 3.

Cada una de las tablas representadas a continuación representan las mediciones de los campos electromagnéticos tomadas en los meses Junio Julio y Agosto, la cual consta con la información del campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia y cada una con la respectiva fecha de recolección de sus datos.

LUNES 01/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,690200000	0,001830800	0,001263618
10m	0,142650000	0,005050000	0,000720383
20m	0,025920000	0,000687700	0,000017825
50m	0,074330000	0,000197000	0,000014643
70m	0,038980000	0,000103500	0,000004034

MIERCOLES 03/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,426500000	0,003783900	0,001613833
10m	0,413850000	0,001099000	0,000454821
20m	0,013850000	0,000897800	0,000012435
50m	0,057360000	0,000152100	0,000008724
70m	0,016125000	0,000427700	0,000006897

## VIERNES 05/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,978290000	0,002595000	0,002538663
10m	0,403400000	0,001071000	0,000432041
20m	0,899000000	0,000238400	0,000214322
50m	0,061850000	0,000281000	0,000017380
70m	0,045230000	0,000179400	0,000008114

## DOMINGO 07/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,690200000	0,001830800	0,001263618
10m	0,515190000	0,001680000	0,000865519
20m	0,078290000	0,000595200	0,000046598
50m	0,060340000	0,000941000	0,000056780
70m	0,018400000	0,000297000	0,000005465

## MARTES 09/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,338000000	0,008980000	0,003035240
10m	0,477410000	0,000267000	0,000127468
20m	0,028600000	0,000463300	0,000013250
50m	0,073600000	0,000521000	0,000038346
70m	0,074490000	0,000049600	0,000003695

## JUEVES 11/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,745000000	0,006290000	0,004686050
10m	0,937500000	0,007403000	0,006940313
20m	0,096000000	0,000536800	0,000051533
50m	0,017000000	0,000450000	0,000007650
70m	0,038484000	0,000102200	0,000003933

## LUNES 15/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,457200000	0,008308200	0,003798509
10m	0,346570000	0,002505000	0,000868158
20m	0,040290000	0,000877320	0,000035347
50m	0,089450000	0,000237000	0,000021200
70m	0,014020000	0,000352300	0,000004939

## MIÉRCOLES 17/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,423651000	0,007839300	0,003321127
10m	0,138500000	0,006345400	0,000878838
20m	0,018443000	0,000835740	0,000015414
50m	0,013944000	0,000277320	0,000003867
70m	0,018400000	0,000274500	0,000005051

## SABADO 20/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,741000000	0,007130000	0,005283330
10m	0,641000000	0,000973000	0,000623693
20m	0,084200000	0,000613000	0,000051615
50m	0,041000000	0,000142000	0,000005822
70m	0,029400000	0,000018240	0,000000536

## MIÉRCOLES 24/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,931000000	0,008308200	0,007734934
10m	0,823000000	0,002505000	0,002061615
20m	0,184000000	0,000352300	0,000064823
50m	0,084000000	0,000128000	0,000010752
70m	0,031900000	0,000312000	0,000009953

## SABADO 27/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,153000000	0,009446000	0,001445238
10m	0,924000000	0,001300000	0,001201200
20m	0,039400000	0,000943000	0,000037154
50m	0,026330000	0,000137000	0,000003607
70m	0,035900000	0,000183000	0,000006570

## MARTES 30/06/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,294000000	0,099300000	0,029194200
10m	0,341000000	0,009530000	0,003249730
20m	0,029500000	0,000947000	0,000027937
50m	0,064200000	0,000520000	0,000033384
70m	0,062900000	0,000158000	0,000009938

## VIERNES 03/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,174000000	0,008610000	0,001498140
10m	0,731000000	0,002640000	0,001929840
20m	0,053600000	0,001480000	0,000079328
50m	0,021900000	0,000859000	0,000018812
70m	0,063000000	0,000146000	0,000009198

## LUNES 06/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,128000000	0,009530000	0,001219840
10m	0,863000000	0,001320000	0,001139160
20m	0,015300000	0,000675000	0,000010328
50m	0,058300000	0,000147000	0,000008570
70m	0,012470000	0,000590000	0,000007357

## MARTES 07/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,461000000	0,008370000	0,003858570
10m	0,124000000	0,009840000	0,001220160
20m	0,859000000	0,000173000	0,000148607
50m	0,018000000	0,000985000	0,000017730
70m	0,084200000	0,000128000	0,000010778

## VIERNES 10/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,631000000	0,001920000	0,001211520
10m	0,812000000	0,002190000	0,001778280
20m	0,013300000	0,009762000	0,000129835
50m	0,031730000	0,000738000	0,000023417
70m	0,002840000	0,000843000	0,000002394

## DOMINGO 12/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,129000000	0,008710000	0,001123590
10m	0,742000000	0,000185000	0,000137270
20m	0,095300000	0,000412000	0,000039264
50m	0,083100000	0,000214000	0,000017783
70m	0,042100000	0,000097200	0,000004092

## JUEVES 16/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,184000000	0,008730000	0,001606320
10m	0,742000000	0,003190000	0,002366980
20m	0,833000000	0,000329000	0,000274057
50m	0,031400000	0,000853000	0,000026784
70m	0,002410000	0,000893000	0,000002152

## SABADO 18/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,923000000	0,001950000	0,001799850
10m	0,852000000	0,000185000	0,000157620
20m	0,014900000	0,000859000	0,000012799
50m	0,023100000	0,000951000	0,000021968
70m	0,095300000	0,000013500	0,000001287

## LUNES 20/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,420000000	0,008920000	0,003746400
10m	0,104900000	0,009410000	0,000987109
20m	0,029100000	0,000853000	0,000024822
50m	0,084300000	0,000123000	0,000010369
70m	0,031200000	0,000089300	0,000002786

## MARTES 21/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,612000000	0,093200000	0,057038400
10m	0,184000000	0,008640000	0,001589760
20m	0,845000000	0,000537000	0,000453765
50m	0,032900000	0,000985000	0,000032407
70m	0,022300000	0,000142000	0,000003167

## VIERNES 24/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,845000000	0,002190000	0,001850550
10m	0,823000000	0,000193000	0,000158839
20m	0,084100000	0,000849000	0,000071401
50m	0,023400000	0,000853000	0,000019960
70m	0,023900000	0,000190000	0,000004541

## LUNES 27/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,331000000	0,097520000	0,032279120
10m	0,953000000	0,002450000	0,002334850
20m	0,251000000	0,000430000	0,000107930
50m	0,031200000	0,000857000	0,000026738
70m	0,012500000	0,000225000	0,000002813

## MIÉRCOLES 29/07/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,329000000	0,004302000	0,001415358
10m	0,984000000	0,000895000	0,000880680
20m	0,023600000	0,000854000	0,000020154
50m	0,012400000	0,000539000	0,000006684
70m	0,084500000	0,000019300	0,000001631

## SÁBADO 01/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,298500000	0,097800000	0,029193300
10m	0,487000000	0,008570000	0,004173590
20m	0,059700000	0,007840000	0,000468048
50m	0,098400000	0,000570000	0,000056088
70m	0,063900000	0,000244500	0,000015624

## MARTES 04/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,693000000	0,034500000	0,023908500
10m	0,429400000	0,007830000	0,003362202
20m	0,128400000	0,002235000	0,000286974
50m	0,059200000	0,000793000	0,000046946
70m	0,075800000	0,000329000	0,000024938

## VIERNES 07/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,950000000	0,059350000	0,056382500
10m	0,735000000	0,002740000	0,002013900
20m	0,246000000	0,003850000	0,000947100
50m	0,084500000	0,000321000	0,000027125
70m	0,053600000	0,000795000	0,000042612

## LUNES 10/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,593000000	0,074500000	0,044178500
10m	0,328000000	0,005390000	0,001767920
20m	0,069800000	0,008590000	0,000599582
50m	0,078500000	0,000528000	0,000041448
70m	0,052900000	0,000482000	0,000025498

## MIÉRCOLES 12/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,552900000	0,098400000	0,054405360
10m	0,716300000	0,004590000	0,003287817
20m	0,053800000	0,002940000	0,000158172
50m	0,024900000	0,000834000	0,000020767
70m	0,014500000	0,006294000	0,000091263

## SABADO 15/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,983000000	0,078300000	0,076968900
10m	0,724000000	0,007463000	0,005403212
20m	0,593000000	0,008390000	0,004975270
50m	0,593000000	0,001386000	0,000821898
70m	0,063900000	0,000218300	0,000013949

## MARTES 18/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,867000000	0,099800000	0,086526600
10m	0,693000000	0,093500000	0,064795500
20m	0,423000000	0,008570000	0,003625110
50m	0,285000000	0,001357400	0,000386859
70m	0,057500000	0,000787000	0,000045253

## JUEVES 20/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,873000000	0,099800000	0,087125400
10m	0,639000000	0,008460000	0,005405940
20m	0,498500000	0,002124000	0,001058814
50m	0,019400000	0,008940000	0,000173436
70m	0,032900000	0,000594000	0,000019543

DOMINGO 23/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	1,440000000	0,099800000	0,143712000
10m	1,002000000	0,009990000	0,010009980
20m	0,682000000	0,008980000	0,006124360
50m	0,429000000	0,006480000	0,002779920
70m	0,146000000	0,003920000	0,000572320

MARTES 25/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,729000000	0,099400000	0,072462600
10m	0,593000000	0,008240000	0,004886320
20m	0,392000000	0,005960000	0,002336320
50m	0,149300000	0,003359000	0,000501499
70m	0,049500000	0,000359000	0,000017771

JUEVES 27/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,742000000	0,099500000	0,073829000
10m	0,837000000	0,006300000	0,005273100
20m	0,528000000	0,003290000	0,001737120
50m	0,149300000	0,004950000	0,000739035
70m	0,099700000	0,000529000	0,000052741

DOMINGO 30/08/2015

DISTANCIA	CAMPO ELÉCTRICO (V/m)	CAMPO MAGNÉTICO (A/m)	DENSIDAD DE PONTENCIA (W/m2)
5m	0,857000000	0,099080000	0,084911560
10m	0,629000000	0,007480000	0,004704920
20m	0,442800000	0,006290000	0,002785212
50m	0,193000000	0,003980000	0,000768140
70m	0,039500000	0,000692000	0,000027334

En la figura 4.23 se representa la variación del campo eléctrico a distintas distancias a las que fueron tomadas las mediciones de la operadora CNT.

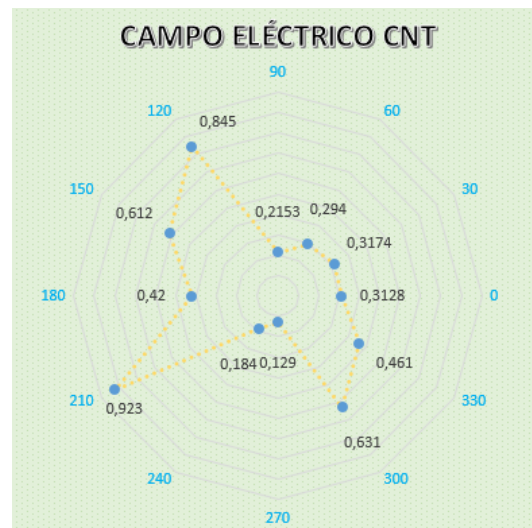


Fig. 4. 23 Promedio de campo eléctrico CNT

Fuente: Investigadora

#### 4.8 Elaboración del modelo matemático

Para la obtención del modelo matemático se usó métodos numéricos, porque los campos electromagnéticos utilizados en la telefonía móvil tienen un límite de emisión por lo cual se determinó que los métodos numéricos pueden generar una ecuación que se encuentre en un tiempo continuo, es decir en tiempo discreto.

Las variables que se usaron para el modelo matemático son el campo eléctrico, magnético, densidad de potencia y la distancia a las que fueron tomadas las mediciones electromagnéticas, por lo cual es necesario relacionar estas variables mediante una expresión matemática y la mejor forma para realizar esto, es encontrar una ecuación de una curva que se ajuste lo más cerca posible a los datos medidos.

Se estudió los tipos de métodos existentes para la elaboración de un modelo matemático de los cuales se hizo una comparación y se determinó el método más apto tomando en consideración el margen de error de cada uno de los métodos. Para elección de un método específico se somete a las mediciones de campos electromagnéticos a pruebas de como funcionaria con cada uno de los métodos de modelos matemáticos.

Para demostrar en este caso se usa las mediciones tomadas de la estación base de operadora Conecel. En la figura 4.24 se observa la gráfica de mediciones de la densidad de potencia.

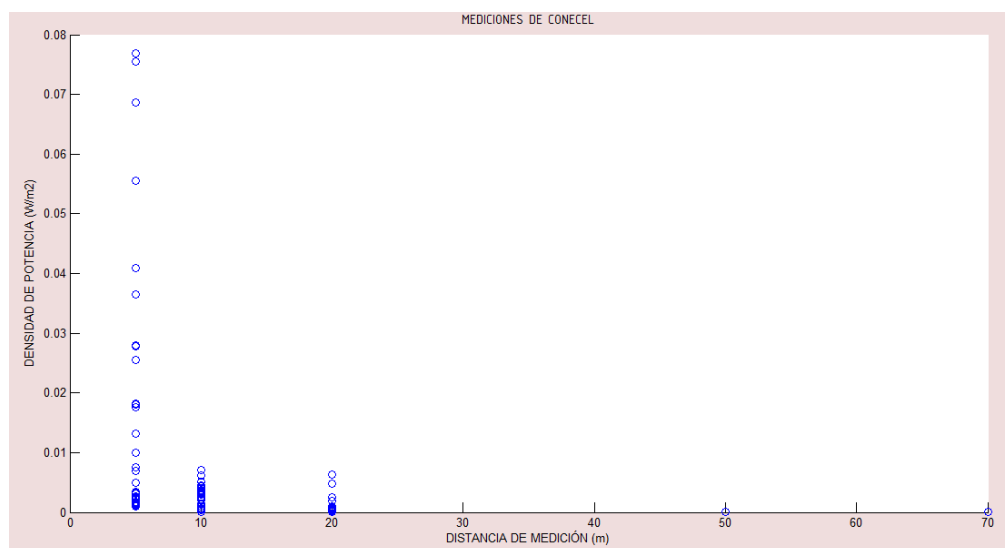


Fig. 4. 24 Mediciones de Conecel

Fuente: Investigadora

Para calcular el margen de error se usa los valores de la densidad de potencia y la distancia a la que fueron tomadas las mediciones y se ilustran en la tabla 4.8.

Tabla 4. 8 Representación de puntos de medición

DISTANCIA DE MEDICIÓN	PROMEDIO DENSIDAD DE POTENCIA	PROMEDIO DENSIDAD DE POTENCIA SIMULADOS
5m	0,01659701	0,0171321
10m	0,00277010	0,00282031
20m	0,00070035	0,000708882
50m	0,00003233	3.24966E-05
70m	0,00002832	2.83816E-05

Fuente: Investigadora

Se ocupan las ecuaciones mostradas en la tabla 4.9, para determinar cuál es la más óptima.

Tabla 4. 9 Métodos de modelación matemática.

<b>Polinomial</b>	$f(x) = p1 * x + p2$
<b>Gauss</b>	$f(x) = a1 * e^{\left(-\left(x - \frac{b1}{c1}\right)^2\right)}$
<b>Exponencial</b>	$f(x) = a * e^{(b*x)}$
<b>Mínimos cuadrados</b>	$f(x) = a * x^2 + b * x + c$

Fuente: Investigadora

Por medio de estos datos se determina la estimación de error  $y = f(x)$

Si  $x = a$ , con un posible margen de error de  $\Delta x$ , e  $y = f(x)$ , entonces  $y = f(a)$ , lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\Delta y \approx \Delta x \left[ \frac{dy}{dx} \right]_{x=a} \times 100\%$$

Se procede a realizar el cálculo con los valores de la tabla 4.8.y el primer método mostrado en la tabla 4.9.

$$\Delta y \approx \Delta x(p1 * x + p2)$$

$$\Delta y \approx (20)(0,00070035(20) + 0,000708882) \times 100\%$$

$$\Delta y \approx 29.51\%$$

De la misma forma se lo realiza con la tercera función y se tiene que:

$$f(x) = a * e^{(b*x)}$$

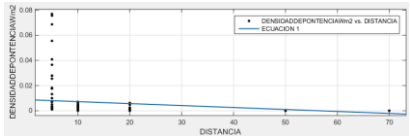
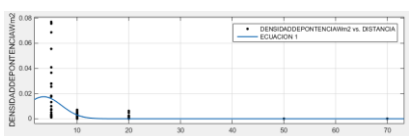
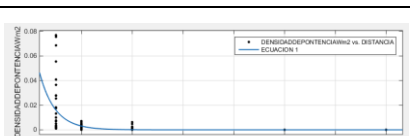
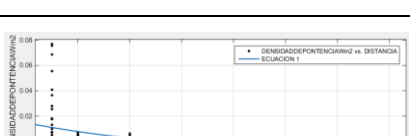
$$\Delta y \approx \Delta x (a * e^{(b*x)})$$

$$\Delta y \approx (10)(0,00277010 * e^{(0,00282031*10)}) * 100\%$$

$$\Delta y \approx 5.065\%$$

En la tabla 4.10 se observa la comparación de los métodos de modelación matemática.

Tabla 4. 10 Representación de puntos de medición

MÉTODO	ECUACIÓN	GRÁFICA	MARGEN DE ERROR
Polinomial	$f(x) = p1 * x + p2$		30%
Gauss	$f(x) = a1 * e^{-\left(\left(x - \frac{b1}{c1}\right)\right)^2}$		20%
Exponencial	$f(x) = a * e^{(b*x)}$		5%
Mínimos cuadrados	$f(x) = a * x^2 + b * x + c$		15%

Fuente: Investigadora

El método más apto para la elaboración de la modelación es el método exponencial, mismo que ha sido elegido porque se verificó que mientras mayor es la distancia de medición, menor son los valores de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia.



El método exponencial usa la ecuación se denota en la tabla 4.7 y corresponde de la siguiente manera:  $Y = Ae^{BX}$ , para realizar la modelación matemática se determinó ocupar como variables de la ecuación a la densidad de potencia y la distancia a la que fueron tomadas las mediciones. Los valores del eje x son la distancia de medición y en el eje y se ubica los valores de la densidad de potencia.

Para poder desarrollar el método exponencial y generar la modelación matemática se ocupó el software Matlab porque proporciona directamente un Toolbox, el cual dispone de varios métodos numéricos y aquí se encuentra el método exponencial.

Por medio de los datos de densidad de potencia y distancia de medición que se obtuvieron de las mediciones se realizadas durante los meses Junio, Julio, Agosto en cada una de las estaciones base, se obtiene una ecuación que modela el comportamiento de los mismos para poder elaborar predicciones de como aumenta la densidad de potencia y verificar si afecta a la población del cantón Mera.

De cada una de las estaciones base se obtuvo una modelación matemática con el método exponencial con el siguiente procedimiento:

#### **4.8.1 Modelación estación base CONECEL:**

Las variables utilizadas para la obtención de la ecuación son la distancia a la que se realizó cada una de las mediciones ocupa el eje x y los valores de la densidad de potencia medida por el dispositivo se ubicó en el eje y.

En este caso para que los datos se adapten de mejor manera se usa la ecuación exponencial:  $Y = Ae^{BX}$

La cual fue seleccionada por que su margen de error al graficar las mediciones están se ubicaron lo más cerca posible de la curva exponencial. Para determinar la ecuación exponencial es necesario determinar los valores de los coeficientes A y B. A continuación se muestra el procedimiento realizado en Matlab para hallar el valor de los coeficientes A y B:

1. Se exporta los datos de Excel, desde el archivo ecuación1

```
%% Import the data
[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\Lenovo\Desktop\li\ecuacion1.xlsx', 'Hoja1', 'B2:C181')
;
```

```

%% Create output variable
data = reshape([raw{:}],size(row));
%% Allocate imported array to column variable names
DISTANCIA = data(:,1);
DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2 = data(:,2);
%% Clear temporary variables
clearvars data row;

```

2. Se realiza la gráfica de los datos que fueron tomados durante los tres meses de investigación y se aprecia en la figura 4.25.

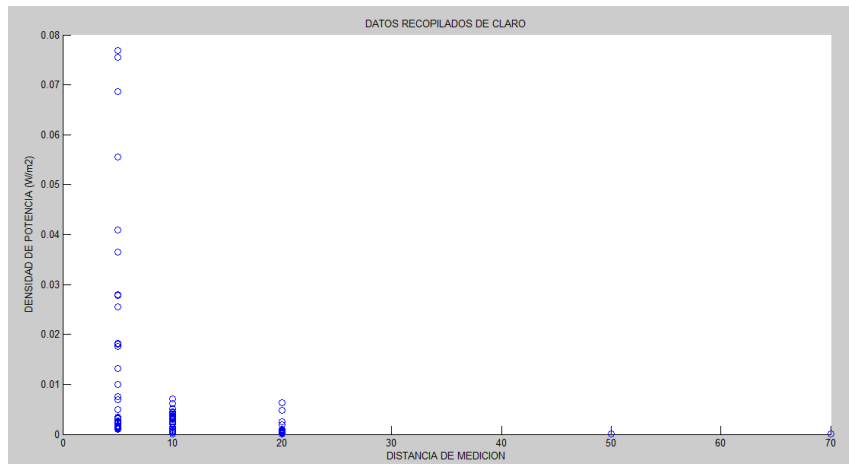


Fig. 4. 25 Datos recopilados de Claro

Fuente: Investigadora

3. Se realiza los cálculos matemáticos para determinan los valores de los coeficientes de la ecuación exponencial.

```

function [fitresult, gof] = createFit(DISTANCIA,
DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2)
%CREATEFIT(DISTANCIA,DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_M2)
% Create a fit.
% Data for 'ECUACION CLARO' fit:
% X Input : DISTANCIA
% Y Output: DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2 % Output:
% fitresult : a fit object representing the fit.
% gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 16-Dec-2015 19:17:07
%% Fit: 'ECUACION CLARO'.
[xData, yData] = prepareCurveData( DISTANCIA,
DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2 );
% Set up fitype and options.
ft = fitype( 'expl' );
opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';
opts.StartPoint = [0.0093628960908838 -0.101259973791054];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
% Plot fit with data.

```

```

figure( 'Name', 'ECUACION CLARO' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2 vs. DISTANCIA', 'ECUACION CLARO', 'Location', 'NorthEast' );
% Label axes
xlabel( 'DISTANCIA' );
ylabel( 'DENSIDAD_DE_PONTECIA_W_m2' );
grid on

```

4. Dentro del Toolbox Apps Curve Fitting se obtiene los valores de las variables A y B como se aprecia en la figura 4.26.

```

General model Exp1:
f(x) = a*exp(b*x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 0.08274 (-0.00954, 0.175)
b = -0.3289 (-0.5408, -0.117)

```

Fig. 4. 26 Coeficientes obtenidos de modelación

Fuente: Investigadora

En la figura 4.27 se aprecia la gráfica de la modelación matemática de las mediciones, que tiene como ecuación exponencial:  $y = 0,08274e^{-0,3289x}$ .

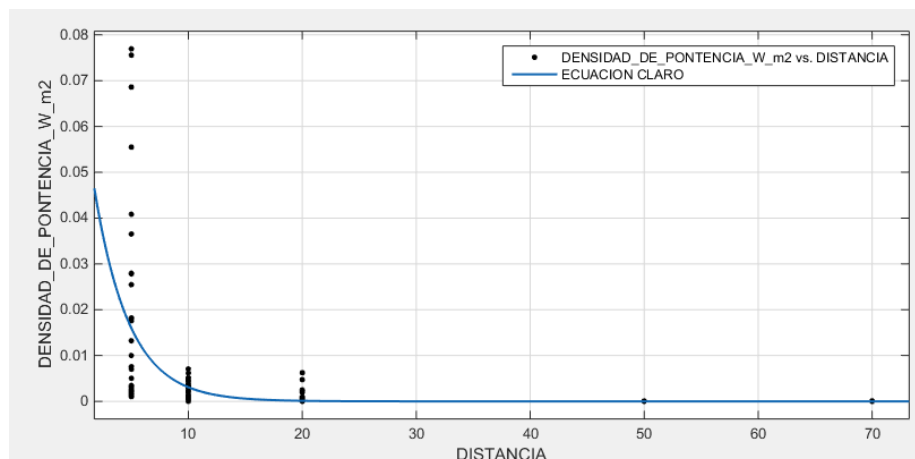


Fig. 4. 27 Modelación matemática de Claro

Fuente: Investigadora

#### 4.8.2 Modelación estación Base OTECEL:

Para la obtención de los coeficientes A y B de la ecuación exponencial se realiza el mismo procedimiento que se usó para determinar el modelo matemático de Conecel. A continuación el proceso realizado:

1. Se exporta los datos de Excel desde el archivo ecuación2.

```

%% Import the data

```

```

[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\Lenovo\Desktop\li\ecuacion2.xlsx', 'Hoja1', 'A2:B181')
;
%% Create output variable
data = reshape([raw{:}], size(raw));
%% Allocate imported array to column variable names
DISTANCIA_DE_MEDICION = data(:,1);
PROMEDIO_DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 = data(:,2);
%% Clear temporary variables
clearvars data raw;

```

2. Se realiza la gráfica de los datos tomados durante los tres meses de investigación y se los representa en la figura 4.28.

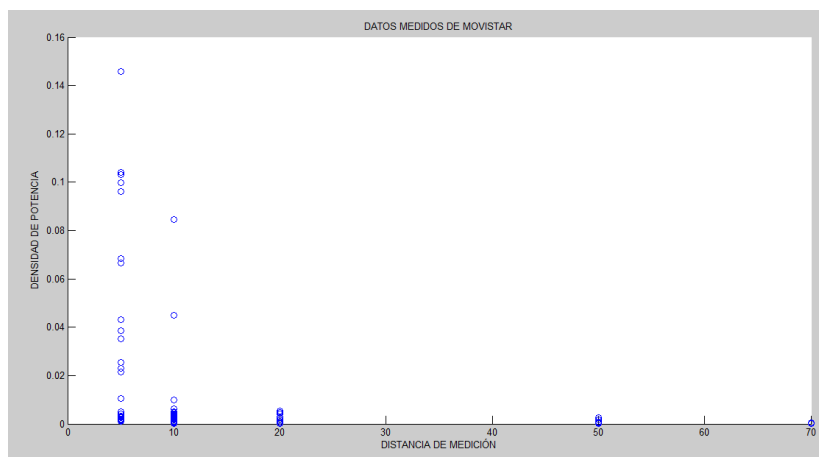


Fig. 4. 28 Datos de medición de Movistar

Fuente: Investigadora

3. Se realiza los cálculos matemáticos para determinar los valores de los coeficientes de la ecuación exponencial.

```

function [fitresult, gof] = createFit(DISTANCIA_DE_MEDICION,
DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2)
%CREATEFIT(DISTANCIA_DE_MEDICION,DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_M2)
% Create a fit.
% Data for 'ECUACION MOVISTAR' fit:
%     X Input : DISTANCIA_DE_MEDICION
%     Y Output: DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2
% Output:
%     fitresult : a fit object representing the fit.
%     gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 16-Dec-2015 21:38:19
%% Fit: 'ECUACION MOVISTAR'.
[xData, yData] = prepareCurveData( DISTANCIA_DE_MEDICION,
DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 );
% Set up fitype and options.
ft = fitype( 'expl' );
opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';

```

```

opts.StartPoint = [0.185435446871103 -0.134386491483565];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'ECUACION MOVISTAR' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 vs. DISTANCIA_DE_MEDICION',
'ECUACION MOVISTAR', 'Location', 'NorthEast' );
% Label axes
xlabel( 'DISTANCIA_DE_MEDICION' );
ylabel( 'DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2' );
grid on

```

4. Dentro del Toolbox Apps Curve Fitting se obtiene los valores de las variables A y B, como se aprecia en la figura 4.29.

```

General model Exp1:
f(x) = a*exp(b*x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 0.1958 (-0.03624, 0.4278)
b = -0.3487 (-0.5758, -0.1217)

```

Fig. 4. 29 Coeficientes obtenidos de modelación

Fuente: Investigadora

En la figura 4.30 se aprecia la gráfica de la modelación matemática de las mediciones, que tiene como ecuación exponencial:  $y = 0,1958e^{-0,3487x}$ .

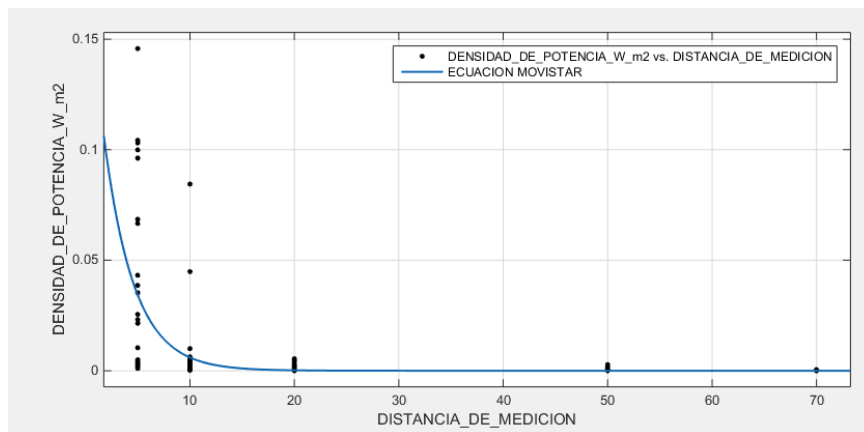


Fig. 4. 30 Modelación matemática de Movistar

Fuente: Investigadora

### 4.8.3 Modelación estación base CNT

Para la obtención de los coeficientes A y B de la ecuación exponencial se realiza el mismo procedimiento que se usó para determinar el modelo matemático de Otecel. A continuación el proceso realizado:

1. Se exporta los datos de Excel desde el archivo ecuación3.

```

%% Import the data
[~, ~, raw] =
xlsread('C:\Users\Lenovo\Desktop\li\ecuacion3.xlsx', 'Hoja1', 'A2:B181')
;
%% Create output variable
data = reshape([raw{:}], size(raw));
%% Allocate imported array to column variable names
DISTANCIA_DE_MEDICION_m = data(:,1);
DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 = data(:,2);
%% Clear temporary variables
clearvars data raw;

```

2. Se realiza la gráfica de los datos tomados durante los tres meses de investigación se lo presenta en la figura 4.31.

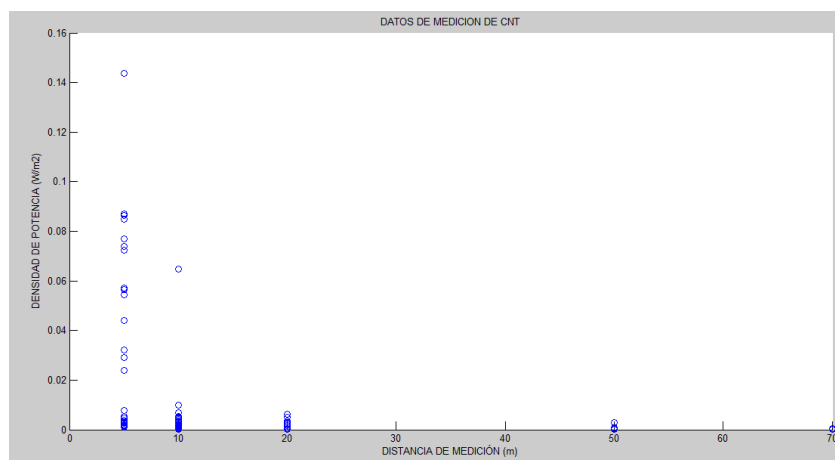


Fig. 4. 31 Datos recopilados de CNT

Fuente: Investigadora

3. Se realiza los cálculos matemáticos para determinan los valores de los coeficientes de la ecuación exponencial.

```

function [fitresult, gof] = createFit(DISTANCIA_DE_MEDICION_m,
DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2)
%CREATEFIT(DISTANCIA_DE_MEDICION_M,DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_M2)
% Create a fit.
% Data for 'ECUACION CNT' fit:
% X Input : DISTANCIA_DE_MEDICION_m
% Y Output: DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2
% Output:
% fitresult : a fit object representing the fit.
% gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 17-Dec-2015 11:55:34
%% Fit: 'ECUACION CNT'.
[xData, yData] = prepareCurveData( DISTANCIA_DE_MEDICION_m,
DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 );
% Set up fittype and options.
ft = fittype( 'exp1' );

```

```

opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';
opts.StartPoint = [0.14047494516538 -0.120834812133548];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'ECUACION CNT' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2 vs. DISTANCIA_DE_MEDICION_m',
'ECUACION CNT', 'Location', 'NorthEast' );
% Label axes
xlabel( 'DISTANCIA_DE_MEDICION_m' );
ylabel( 'DENSIDAD_DE_POTENCIA_W_m2' );
grid on

```

4. Dentro del Toolbox Apps Curve Fitting se obtiene los valores de las variables A y B como se aprecia en la figura 4.32

```

General model Exp1:
f(x) = a*exp(b*x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 0.1879 (-0.0718, 0.4477)
b = -0.3809 (-0.6488, -0.1131)

```

Fig. 4. 32 Coeficientes obtenidos de modelación

Fuente: Investigadora

En la figura 4.33 se aprecia la gráfica de la modelación matemática de datos medidos, que tiene como ecuación exponencial  $y = 0,1879e^{-0,3809x}$ .

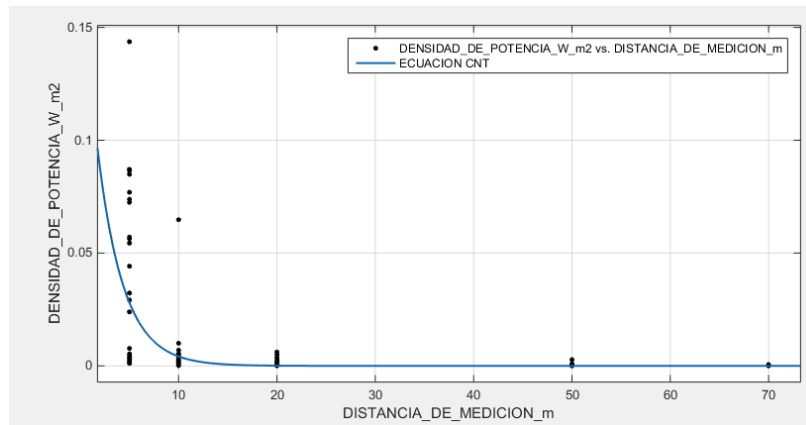


Fig. 4. 33 Modelación matemática de CNT

Fuente: Investigadora

Una vez que se obtienen las modelaciones matemáticas exponenciales del comportamiento de la densidad de potencia emitida por cada una de estaciones base, se

procede a elaborar una ecuación única para posteriormente determinar el comportamiento al incrementar nuevas estaciones base en el cantón Mera.

Para obtener una única ecuación de la modelación matemática final se adjunta todos datos de las mediciones y se aprecia en la figura 4.34.

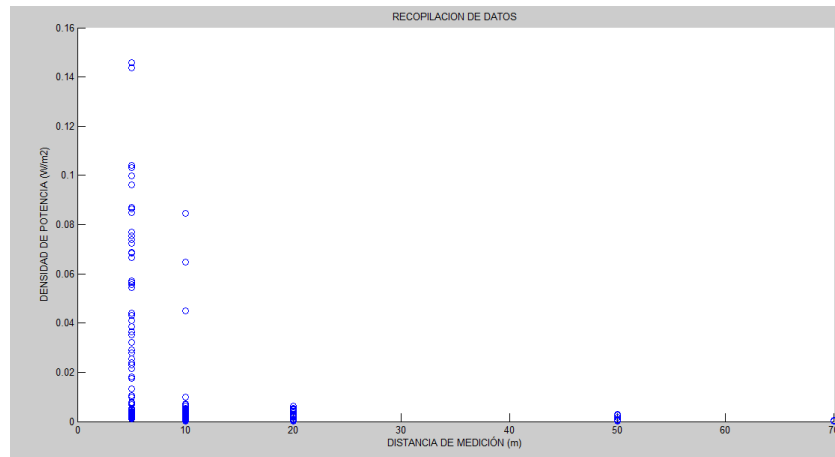


Fig. 4. 34 Recopilación de Datos

Fuente: Investigadora

Los datos medidos se exportan del archivo ecutotal y se procede a la elaboración de la modelación matemática teniendo como resultado la ecuación exponencial:  $y_T = 0,1543e^{-0,3557x}$ , se aprecia en la figura 4.35.

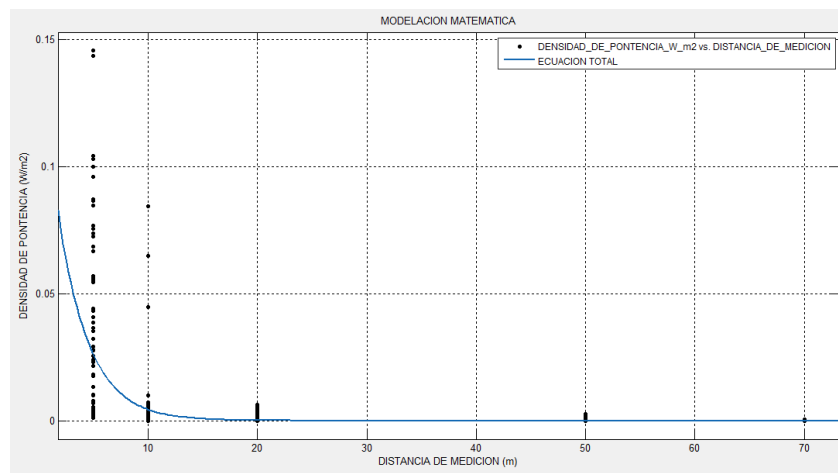


Fig. 4. 35 Modelación Matemática Final

Fuente: Investigadora

El código representa el procedimiento para la obtención de la modelación matemática total de los valores medidos:



```

function [fitresult, gof] = createFit(DISTANCIA_DE_MEDICION,
DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_m2)
%CREATEFIT(DISTANCIA_DE_MEDICION,DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_M2)
% Create a fit.
% Data for 'ECUACION TOTAL' fit:
%     X Input : DISTANCIA_DE_MEDICION
%     Y Output: DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_m2
% Output:
%     fitresult : a fit object representing the fit.
%     gof : structure with goodness-of fit info.
% See also FIT, CFIT, SFIT.
% Auto-generated by MATLAB on 17-Dec-2015 12:37:36
%% Fit: 'ECUACION TOTAL'.
[xData, yData] = prepareCurveData( DISTANCIA_DE_MEDICION,
DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_m2 );
% Set up fitype and options.
ft = fitype( 'exp1' );
opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
opts.Display = 'Off';
opts.StartPoint = [0.143014958369502 -0.124994001298438];
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'ECUACION TOTAL' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_m2 vs. DISTANCIA_DE_MEDICION',
'ECUACION TOTAL', 'Location', 'NorthEast' )
% Label axes
xlabel( 'DISTANCIA_DE_MEDICION' );
ylabel( 'DENSIDAD_DE_PONTENCIA_W_m2' );
grid on

```

La figura 4.36 representa la gráfica de la modelación matemática final.

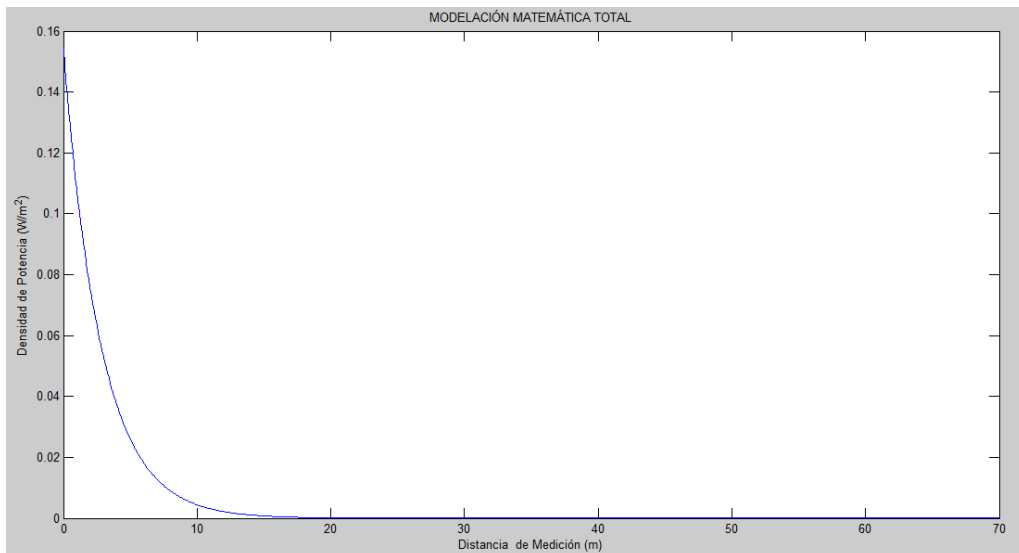


Fig. 4. 36 Representación de Modelación Matemática Final

Fuente: Investigadora

## 4.9 Diseño de aplicación modelo matemático

El último objetivo del proyecto de investigación es la elaboración de una aplicación la cual facilite la generación de resultados del aumento de la densidad de potencia que sucede al incrementa una nueva estación base en el cantón Mera.

La aplicación fue desarrollada con la creación de una interfaz gráfica de usuario con la herramienta GUI de MatLab, en donde se realizó programación aplicada al ámbito de las telecomunicaciones, para lo cual se estudió algunos parámetros relacionados con antenas usadas en telefonía celular. En esta sección se explica las funcionalidades de la aplicación, para que el usuario pueda llegar a entender el procedimiento y el funcionamiento del mismo.

### 4.9.1 Explicación de Aplicación.

En la figura 4.37 se observa la pantalla de aplicación, en donde se presentan datos del proyecto de investigación y datos personales, en la parte inferior se encuentran dos botones que cumplen funcionalidades específicas.



Fig. 4. 37 Representación de página principal de Aplicación.

Fuente: Investigadora

Al seleccionar el botón DIAGRAMAS Y MODELOS se muestra la pantalla de la figura 4.38, se muestra los campos eléctricos, magnéticos y campo radiado formado por cada una de las estaciones base estudiadas.

Para observar los resultados se selecciona el botón de la operadora que desea y da clic en el botón aceptar, se desplegará la gráfica del campo eléctrico, el campo magnético y el campo radiado por cada una de la estaciones base.

La figura 4.38 presenta el resultado de la operadora Conecel, en la parte superior muestra el diagrama de radiación de campo eléctrico, el diagrama de radiación del campo magnético y el campo radiado de la estación base. En la parte inferior se muestra el resultado de la modelación matemática exponencial que se obtiene de las mediciones realizadas a esta estación base.

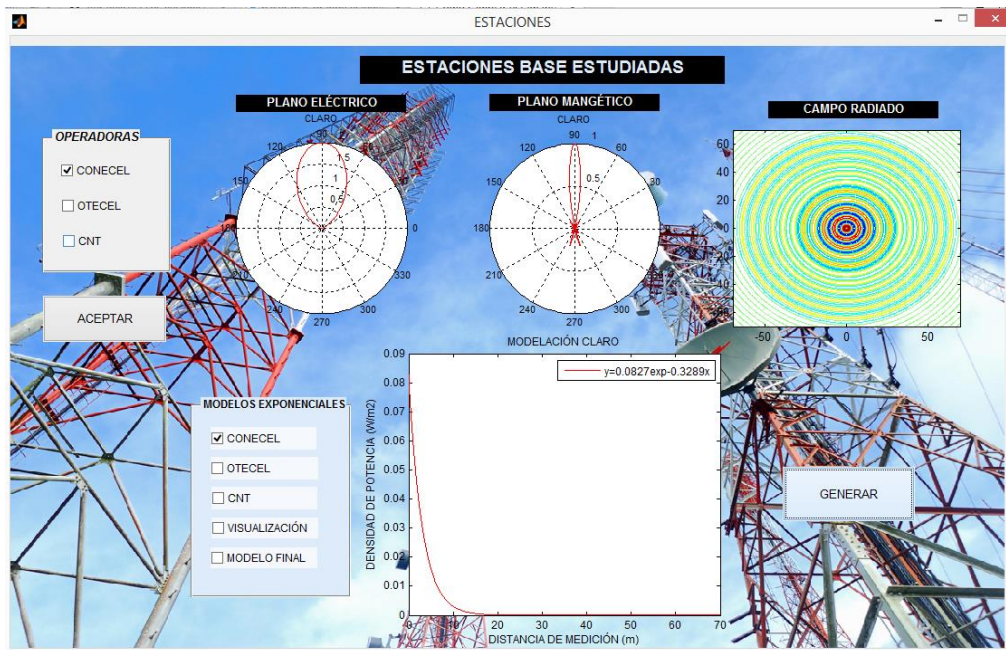


Fig. 4. 38 Interfaz gráfica de usuario ESTACIONES

Fuente: Investigadora

La figura 4.39, presenta el resultado de la operadora Otecel, de la misma manera muestra el diagrama de radiación de campo eléctrico, magnético y el campo radiado de la estación base. En la parte inferior se muestra el resultado de la modelación matemática exponencial que se obtiene de las mediciones realizadas a esta estación base.

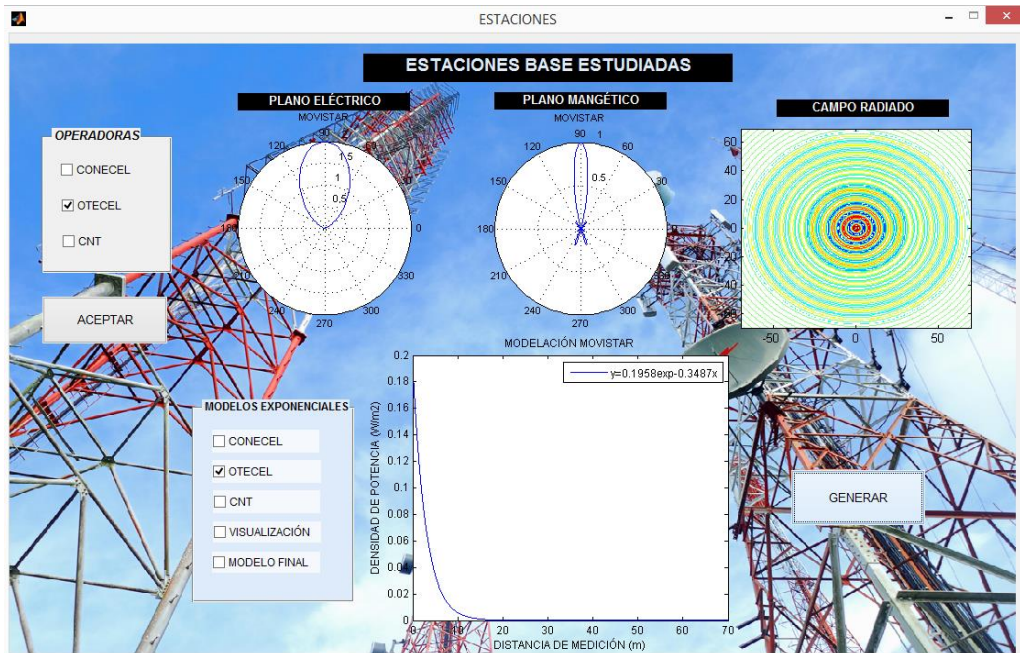


Fig. 4. 39 Resultados otorgados por Movistar

Fuente: Investigadora

La figura 4.40, muestra el resultado de la operadora CNT, la primera grafica muestra el diagrama de radiación de campo eléctrico, en la segunda el campo magnético y en la tercera figura el campo radiado de la estación base. En la parte inferior se muestra el resultado de la modelación matemática exponencial que se obtiene de las mediciones realizadas a esta estación base.

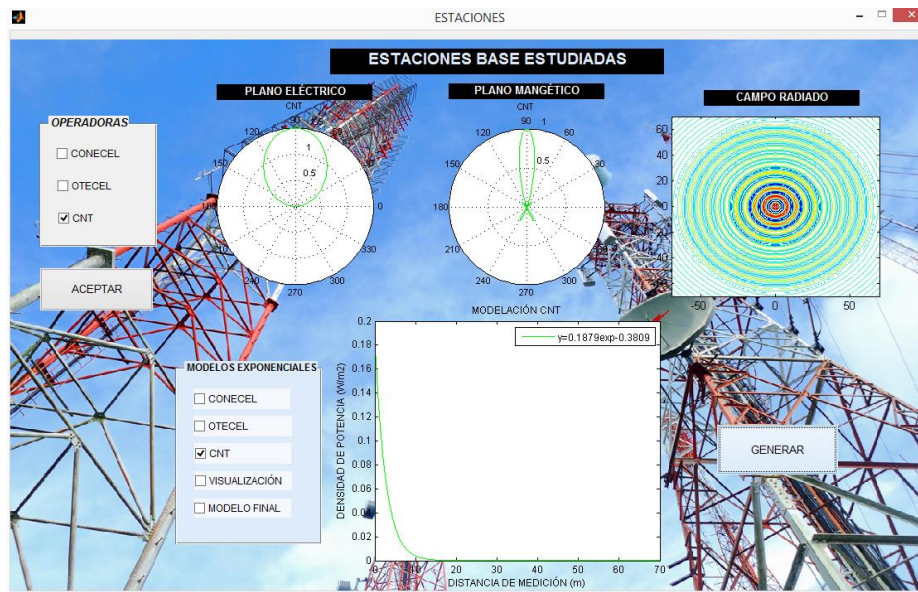


Fig. 4. 40 Resultados otorgados por CNT

Fuente: Investigadora

La opción VISUALIZACION se crea con el fin de observar simultáneamente cómo interactúan los modelos matemáticos de cada una de estaciones base y se lo aprecia en la Figura 4.41.

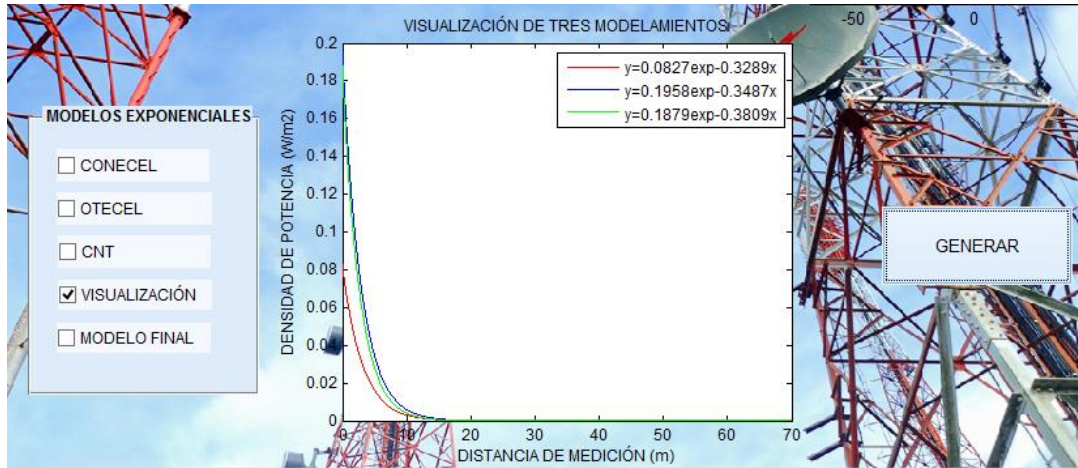


Fig. 4. 41 Interacción de modelos matemáticos

Fuente: Investigadora

La opción Modelo Final que se observa en la Figura 4.42, se encuentra la modelación matemática de todas las mediciones a las tres estaciones base.

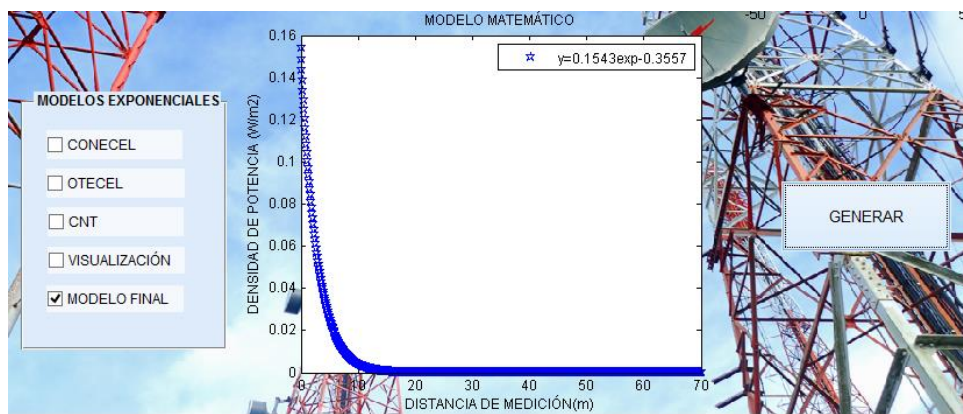


Fig. 4. 42 Modelación Matemática Final.

Fuente: Investigadora

Al seleccionar el botón RESULTADOS se desplegará la gráfica mostrada en la figura 4.43, se observa el resultado al incrementar una estación base de la operadora Conecel. Para obtener los resultados se introducen los datos de las mediciones electromagnéticas, tecnologías, cálculo de distancias, datos de medidas simulados y resultados de modelación matemática. Estas partes se explicaran en los siguientes subpartados.

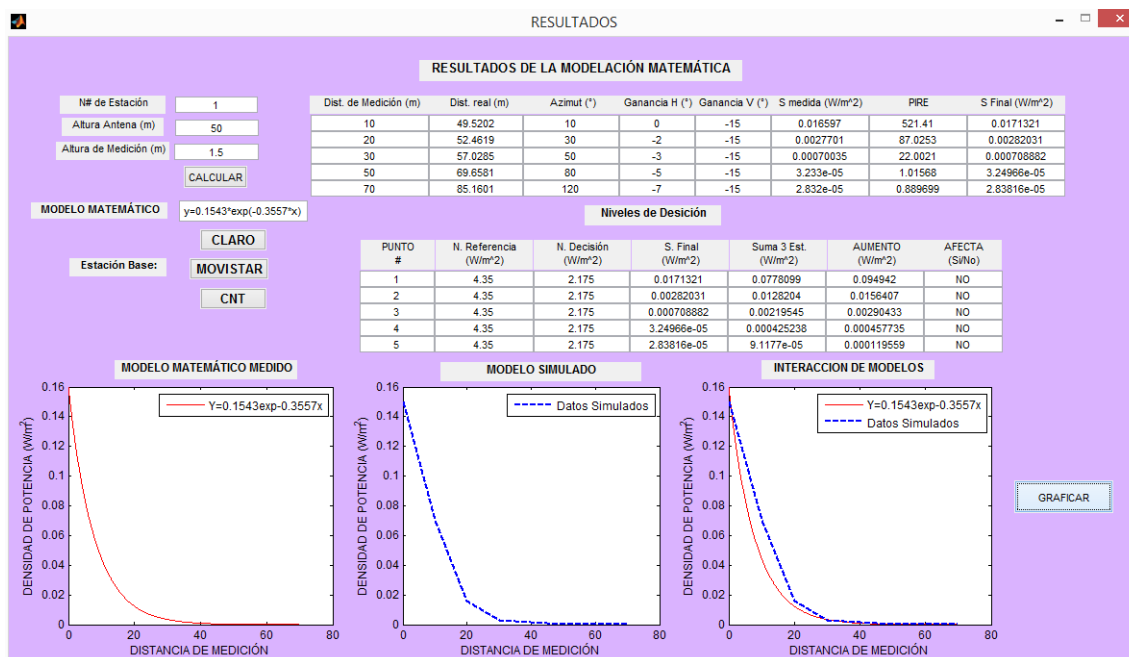


Fig. 4. 43 Resultados de ubicación de nueva estación base Claro.

Fuente: Investigadora

En la Figura 4.44, en el primer campo se ingresa el número de estaciones base que se desea incrementar, en el segundo campo la altura de la antena y el tercer campo tiene un valor estático ya que con esa altura se realizó las mediciones en cada una de las estaciones.

Fig. 4. 44 Ingreso de datos

Fuente: Investigadora

En la figura 4.45, se diferencian los datos obtenidos mediante programación de valores y características de antenas sectoriales.

Dist. de Medición (m)	Dist. real (m)	Azimet (°)	Ganancia H (°)	Ganancia V (°)	S medida (W/m <sup>2</sup> )	PIRE	S Final (W/m <sup>2</sup> )
10	49.5202	10	0	-15	0.016597	521.41	0.0171321
20	52.4619	30	-2	-15	0.0027701	87.0253	0.00282031
30	57.0285	50	-3	-15	0.00070035	22.0021	0.000708882
50	69.6581	80	-5	-15	3.233e-05	1.01568	3.24966e-05
70	85.1601	120	-7	-15	2.832e-05	0.889699	2.83816e-05

Fig. 4. 45 Datos medidas realizadas y calculadas

Fuente: Investigadora

A continuación se explica la función de cada una de las columnas.

➤ **Distancia de medición**

La distancia de medición son valores fijos, ya que son las distancias a las cuales se obtuvieron los datos de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia.

➤ **Distancia real**

El campo distancia real es el cálculo de la distancia real que existe entre el punto de medida y el dispositivo de medición hasta la antena. Para rellenar dicho campo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Dist. Real = \sqrt{(Dist. Medida)^2 + (Alt. Antena - Alt. Medición)^2}$$

➤ **Azimut**

Este campo azimut se mide en grados polares y se hace referencia al azimut que formada el dispositivo de medición con respecto a la antena medida, donde el punto de referencia será el norte geográfico, tal y como se muestra en la figura 4.46.

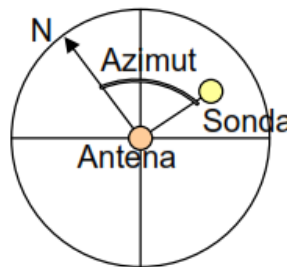


Fig. 4. 46 Cálculo de Azimut

Fuente: Investigadora

➤ **Ganancia Horizontal**

El campo ganancia horizontal es calculado y se mide en dB, informa el valor de atenuación que tiene el diagrama de radiación horizontal de la antena. Para encontrar este valor, el programa lee el diagrama de radiación de la estación base seleccionada.

➤ **Ganancia Vertical**

El campo ganancia vertical es calculado y se mide en dB, al igual que en el caso de Ganancia Horizontal, este se guardará el valor de atenuación que tiene el diagrama de

radiación vertical en función de la altura de la antena respecto al dispositivo de medición y la distancia real a la que se realiza la medida.

➤ **S. Medida ( $W/m^2$ )**

Este campo corresponde a la densidad de potencia que se obtuvieron al realizar las mediciones por medio del dispositivo de medición.

➤ **PIRE**

El PIRE es la potencia isotrópica radiada equivalente, definida como el producto de la ganancia de potencia y la potencia entregada por la antena, entonces se obtiene la siguiente ecuación:

$$PIRE = S.Medida * 4\pi r^2$$

➤ **S. Final ( $W/m^2$ )**

El campo S. Final define la densidad de potencia que existirá una vez instalada la nueva estación base. Para realizar este cálculo es necesario calcular la densidad de potencia teórica a partir de los datos introducidos por el usuario, y sumarle la densidad de potencia que ya existe en ese lugar.

$$S.Final = \frac{PIRE * nTRx * 10^{\frac{Gh}{10}} * 10^{\frac{Gv}{10}}}{4 * \pi * Dist.Real^2} + S.Medida$$

La figura 4.47 muestra la pantalla mas importante, porque es donde se identifica si en algún punto, el valor la de densidad de potencia sobrepasa el nivel de decisión establecido por la Arcotel.

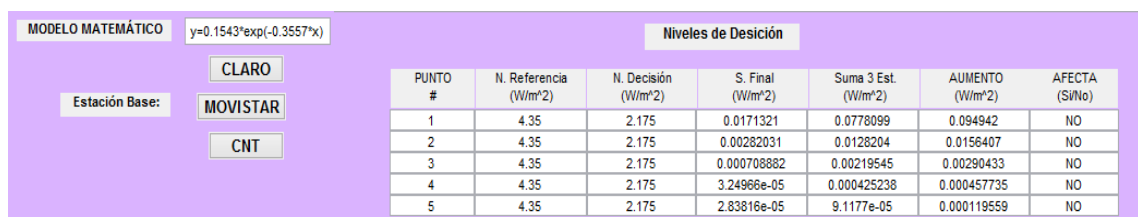


Fig. 4. 47 Cálculo de niveles de decisión

Fuente: Investigadora

En la parte izquierda de la figura existe tres botones los cuales corresponden a las estaciones base que se desearia incremetar, cada una de ellas tienen dentro de su programación los valores correspondientes a las operadoras Conecel o conocido como



Claro opera a una frecuencia de 870-880 MHz y el tipo de exposición utilizada es poblacional y su límite de exposición de densidad de potencia de  $4.35W/m^2$ .

Otecel o mas conocida como Movistar opera a una frecuencia de 880-890 MHz y para este estudio se usa la exposición poblacional tiene como límite de exposición de densidad de potencia de  $4.4W/m^2$ .

Y en el caso de CNT, opera a una frecuencia de 1975-1990 MHz y para exposición poblacional tiene como límite de exposición de densidad de potencia de  $9,875W/m^2$ . A continuación se explica cómo se obtuvieron los valores de cada uno de los campos.

➤ **Niveles de Referencia**

En el campo nivel de referencia se ingresa los valores limites de la densidad de potencia que se menciana en el parrafo anterior y estos valores cambian conforme se seleccione el boton de las operadoras de telefonia celular.

➤ **Niveles de Decisión**

El campo niveles de decisión se tiene el valor de los niveles de refencia divididos para dos.

➤ **S.Final**

El campo S.Final contiene los valores de la densidad de potencia que se obtienen al incrementar una nueva estacion base.

➤ **Suma de estaciones**

En el campo suma de estaciones se realiza la suma los valores medidos de las tres estaciones base, para reflejar el incremento de densidad de potencia.

➤ **Aumento**

En el campo Aumento se realiza la suma de los valores generados en los campos S. Final y la Suma de estaciones y así comprobar que los valores simulados se ajusten a la modelación matemática al incrementar una nueva estación base, y de esta manera verificar si afecta o no a la población del cantón Mera.

#### 4.9.2 Validación de modelo matemático

Una vez ingresado los datos solicitados por la aplicación, y realizados los cálculos correspondientes se toma los valores que están en el campo Aumento para graficarlos tal y como se aprecia en la figura 4.48, en donde muestra tanto la gráfica de la modelación matemática elaborada con los datos medidos de las estaciones base, en la segunda grafica se observa los valores que se obtuvieron al incrementar una nueva estación base, en este caso con los valores de la operadora Claro.

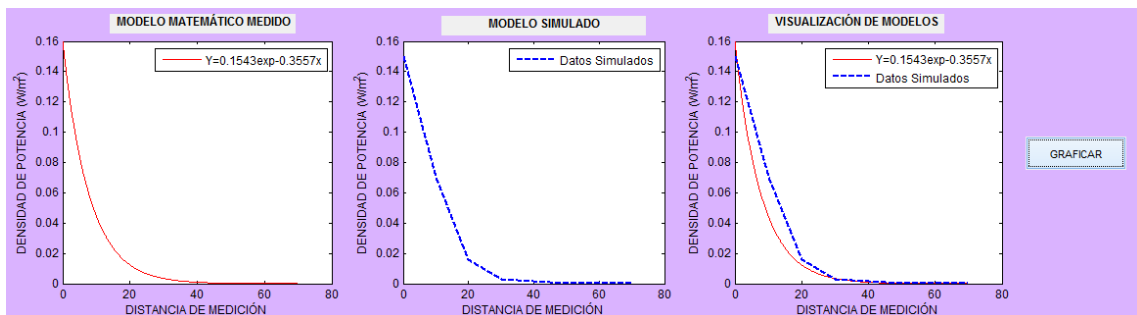


Fig. 4. 48 Funcionamiento de Modelación Matemática Final

Fuente: Investigadora

En el tercer grafico se observa la comparación de la modelación matemática de los datos medidos con la función que se obtiene al incrementar una nueva estación base. Por lo cual la gráfica muestra que la modelación matemática se ajusta a los nuevos valores de densidad de potencia que se producen al incrementar una nueva estación base.

Para garantizar el funcionamiento modelo matemático se desarrolló pruebas funcionamiento con los valores medidos y los valores simulados de la densidad de potencia. Para lo cual se calcula el margen de error existente entre los valores, para calcular dicho error se usa la siguiente ecuación:

$$e = \frac{Vm - Vs}{Vm} * 100\%$$

Donde:  $e$ = Margen de error

$Vm$ =Valores medidos

$Vs$ =Valores simulados

A continuación se calcula el margen de error para determinar el funcionamiento de la modelación matemática. Para lo cual se toma los valores de los campos Sum de 3 estaciones y S. Final, los valores calculados se detallan en la tabla 4.11.

Tabla 4. 11 Valores de campos de densidad de potencia

<b>Sum. 3 Estaciones (<math>W/m^2</math>)</b>	<b>S. Final (<math>W/m^2</math>)</b>	<b>Margen de Error (%)</b>
0,0778099	0,0171321	7,798%
0,0128204	0,0282031	7,8001%
0,00219545	0,00070882	6,771%
0,000425238	3,24966e-05	9,232%
9,1155e-05	2,8316e-05	6,893%

Fuente: Investigadora

Los cálculos de margen de error demuestran que los valores generados de densidad de potencia al incrementar una nueva estación base no sobrepasan los límites de la ecuación de la modelación matemática, comprobando de esta manera que el modelo se adapta de manera efectiva al incremento de una nueva estación base.

El campo denominado Afecta detecta si el incremento de densidad de potencia sobrepasa los límites permitidos por Arcotel y a la vez determina si afecta a la población, en este caso en todas las casillas se obtiene que no porque ninguno de los valores simulados sobrepasa los límites establecidos.

#### 4.10 Presupuesto de la investigación

A continuación en la tabla 4.12 se presenta el costo de los dispositivos utilizados para la implementación del modelo matemático de radiaciones no ionizantes producida por las estaciones base de telefonía celular.

Tabla 4. 12 Costos de dispositivos

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>
<b>MEDIDOR Spectran HF2025E</b>	1	800
<b>GPS</b>	1	100
<b>TOTAL</b>		900

Fuente: Investigadora basado en [35] y [37]

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- El estudio de las radiaciones no ionizantes generadas por las estaciones base provocan alteraciones en el cuerpo humano como estrés, pérdida de reflejos, dolores de cabeza, independientemente si la exposición sea de tipo poblacional u ocupacional, pero estos efectos son producidos a corto plazo y dependen del tiempo de exposición, de la potencia de emisión, de la distancia entre la antena zonal y la persona expuesta.
- El proceso de mediciones electromagnéticas determinó que, las operadoras de telefonía celular cumplen con los límites establecidos por la Arcotel. Claro tuvo una emisión máxima es  $0,254 W/m^2$  , de Movistar se obtuvo una emisión máxima de  $0,38 W/m^2$  y en el caso de CNT se obtuvo una emisión máxima de  $0,59 W/m^2$ . Demostrando que la densidad de potencia que existe en el cantón Mera está por debajo de los límites establecidos por Arcotel.
- La modelación matemática se desarrolló por el método exponencial, debido a que las mediciones realizadas demostraron que a mayor distancia, menor es la densidad de potencia, esto fue fundamental para elección de tipo de modelación. La modelación matemática se ajusta a los valores de la densidad de potencia en un 90% debido a que la densidad de potencia emitida por la estaciones es variable y dependen de tráfico de llamadas que este procesando en un determinado momento del día.
- La aplicación presenta diagramas de radiación, visualización de graficas de modelos matemáticos por estaciones, incremento de densidad de potencia y lo más

importante demuestra que nuevos valores de la densidad de potencia simulados se ajustan a la modelación matemática elaborada.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se debe realizar investigaciones más profundas de los efectos de los campos electromagnéticos generados por las estaciones base de telefonía celular, esto a largo plazo con el fin de descartar que el ser humano adquiera enfermedades catastróficas.
- Para realizar mediciones a los campos electromagnéticos se debe adquirir un dispositivo de medición con mayor capacidad operacional, que de valores de emisiones de radiaciones no ionizantes más puntuales.
- Profundizar la investigación relacionada al diseño de modelación matemática por medio de ecuaciones de los campos electromagnéticos para diferenciar y considerar que tan apto es el modelo matemático creado.
- Para mejorar la aplicación del modelamiento matemático se debe colocar imágenes mediante URL o directamente anexar con Google Earth para tener una imagen real de la zona en donde se ubicara una nueva estación base.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. A. Vazquez, "Radiaciones no ionizantes, ¿son peligrosas para la salud?," 17 JULIO 2007. [Online]. Available: <https://fundacionannavazquez.wordpress.com/2007/07/17/radiaciones-no-ionizantes-%C2%BFson-peligrosas-para-la-salud/>.
- [2] C. I. D. P. C. R. N. IONIZANTES, "LAS ESTACIONES BASE," 25 FEBRERO 2013. [Online]. Available: <http://www.icnirp.org/en/applications/base-stations/index.html>.
- [3] I. T. D. B. AIRES, "RADIACIONES NO IONIZANTES," CENTRO ARGENTINO DE ESTUDIOS DE RADIOCOMUNICACIONES Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA, 20 NOVIEMBRE 2012. [Online]. Available: <http://www.itba.edu.ar/es/id/caercem-centro-argentino-de-estudios-de-radiocomunicaciones-y-compatibilidad-electromagn%C3%A9tica/radiaciones-no-ionizantes>.
- [4] O. M. d. I. Salud, "Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles," MARTES OCTUBRE 2014. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>.
- [5] I. N. d. I. y. C. d. Telecomunicaciones, "Radiaciones No Ionizantes y la Salud," LUNES DICIEMBRE 2009. [Online]. Available: [http://rni.inicel-uni.edu.pe/suplemento-peruano/SUPLEMENTO\\_PERUANO.pdf](http://rni.inicel-uni.edu.pe/suplemento-peruano/SUPLEMENTO_PERUANO.pdf).
- [6] V. M. P. Tristán, Detección, Medición y Modelo Matemático de la Radiación producida en Televisores Comerciales, MEXICO: Universidad Autónoma Nuevo León, 1998.
- [7] L. J. C. Heredia, "ESTUDIO DE LOS NIVELES DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA NO IONIZANTES PRODUCIDAS POR LAS ANTENAS DE RADIO, TELEVISIONES Y ESTACIONES BASE EN VARIAS ZONAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMABA", RIOBAMBA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA, 2013.
- [8] F. Bitter, Corrientes, Campos y Partículas, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1956.

- [9] W. A. D. García, "Análisis de Mediciones de Radiaciones No Ionizantes en Ambientes Interiores y Exteriores en Predios de la ESPOL", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010.
- [10] R. J. Fowler, *Electricidad: Principios y Aplicaciones*, Barcelona: REVERTE S.A, 1994.
- [11] A. Física, "Noticias y artículos sobre astronomía, astrofísica, física y ciencia en general.," JUEVES AGOSTO 2012. [Online]. Available: <http://www.astrofiscayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>.
- [12] J. E. E. DUEÑAS, "USFX," 13 AGOSTO 2009. [Online]. Available: [http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Electronica/39.pdf](http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Electronica/39.pdf).
- [13] B. C. X. D. ROCIO, "Análisis y medición de los niveles de Radiación no Ionizantes producidos por sistemas SMA," ESPOCH, Riobamba, 2012.
- [14] ICNIRP, "ESTACIONES BASE (ALTA FRECUENCIA)," 23 ABRIL 2013. [Online]. Available: <http://www.icnirp.org/en/applications/base-stations/index.html>. [Accessed LUNES MAYO 2015].
- [15] M. V. L. Rodríguez, "Evaluación ambiental de la incidencia Electromagnética," UNACH, Riobamba, 2010.
- [16] "Evaluación de RNI generada por estaciones base en el Valle de los Chillos 2006," ESPE, Sangolquí, 2006.
- [17] C. N. d. Televisión, "PLAN DE UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS," DANE, Bogotá, 2009.
- [18] F. A. G. Paz, "Software aplicativo para el análisis predictivo del comportamiento de campos eléctricos.," Católica de Santa María, Arequipa, 2009.
- [19] R. C. Bassanezi, "NÚMEROS: Modelación Matemática," *Revista didáctica de las Matemáticas*, vol. 1, no. 32, pp. 13-25, 1997.

- [20] A. Regalado, "Cómo crear un modelo matemático," *ENSAYO MATEMÁTICOS*, vol. 1, no. 3, pp. 50-59, 2009.
- [21] D. Solorzano, "El Acercamiento Educativo," 26 Octubre 2012. [Online]. Available: <http://orientas2012.blogspot.com/2012/10/modelo-heuristico.html>.
- [22] G. d. i. eumednet, "Congresos internacionales EUMED.NET," 2008. [Online]. Available: <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2008/amr/Modelos%20empiricos.htm>.
- [23] C. A. G. Ontiveros, "TIPOS DE MODELOS MATEMATICOS," Archivo para la Categoría "Clasificación de modelos", 2008. [Online]. Available: <https://biomatematicasaplicadas.wordpress.com/category/clasificacion-de-modelos/>.
- [24] I. J. M. Jiménez, "HERRAMIENTAS WEB PARA CIENCIA Y TECNOLOGIA," UNIVERSIDAD YACAMBÚ, 2007.
- [25] J. Gomez, "MODELO MATEMATICO CUANTITATIVO," [Online]. Available: <http://modelode.com/modelos/ld-modelo-matematico-cuantitativo.php>.
- [26] Á. R. M. y. F. J. S. S. Joaquín Moreno Torres, "La enseñanza de las matemáticas en la Ingeniería de Edificación," *Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Edificación*, vol. I, no. 1, pp. 39-42, 2013.
- [27] K. Gurney, *An introduction to Neural Networks*, London: British Library, 1997.
- [28] J. M. Guevara, "Fundamento de programación de Java," G-Tec, Madrid, 2008.
- [29] M. d. E. d. Chile, *Modelando el Mundo con funciones exponenciales y logaritmos*, CHILE, 2008.
- [30] P. b. MediaWiki, "Wikilibros," 29 Abril 2010. [Online]. Available: [https://es.wikibooks.org/wiki/Programaci%C3%B3n\\_en\\_Java/Caracter%C3%ADsticas\\_del\\_lenguaje](https://es.wikibooks.org/wiki/Programaci%C3%B3n_en_Java/Caracter%C3%ADsticas_del_lenguaje).
- [31] H. M. -. L. Román, "Tutorial de MATLAB," 8 Junio 2009. [Online]. Available: <http://www.angelfire.com/la/hmolina/matlab1.html>.




- [32] D. D. y. T. Juan, "Lenguajes de Programación," 25 Agosto 2012. [Online]. Available: <http://lenguajedeprogramaciondelphi.blogspot.com/>.
- [33] G. v. Rossum, "El tutorial de Python," in *Lenguajes de Programación*, Fred L. Drake, Jr., 2009, pp. 10-12.
- [34] N. Solutions, "Electric and Magnetic Field Measurement," Narda, EEUU, 2013.
- [35] A. AG, "Sprectran HF2025," [www.aaronia.de](http://www.aaronia.de), Alemania, 2015.
- [36] P. Instruments, "Contador de radiación electromagnética PCE-EMF 823," <http://www.pce-iberica.es>, Madrid, 2014.
- [37] GARMIN, "buy.garmin.com," Jueves Diciembre 2014. [Online]. Available: <https://buy.garmin.com/es-AR/AR/explorando/gps-cartografia/etrex-10/prod87768.html>.
- [38] D. C. Lay, *Linear Algebra and Its applications*, London: Content Technologies, 2013.
- [39] J. Stewart, *Cálculo de una variable. Trancendentes tempranas*, México D.F.: Cengage Learning Editores,S.A, 2008.


# ANEXO 1

**UBIQUITI NETWORKS**  
TECHNICAL SPECS/DATASHEET


2.4GHz AirMax 2x2 MIMO Basestation Sector Antennas




Revolutionary, Cost/Performance Breakthrough Carrier Class MIMO BaseStation Antennas



**AirMax Sector 2G-16-90**  
Hi-gain 16dBi, 90deg.


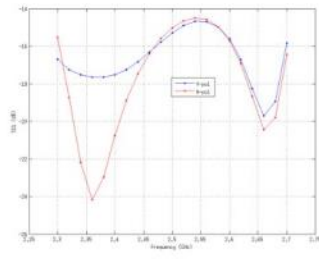


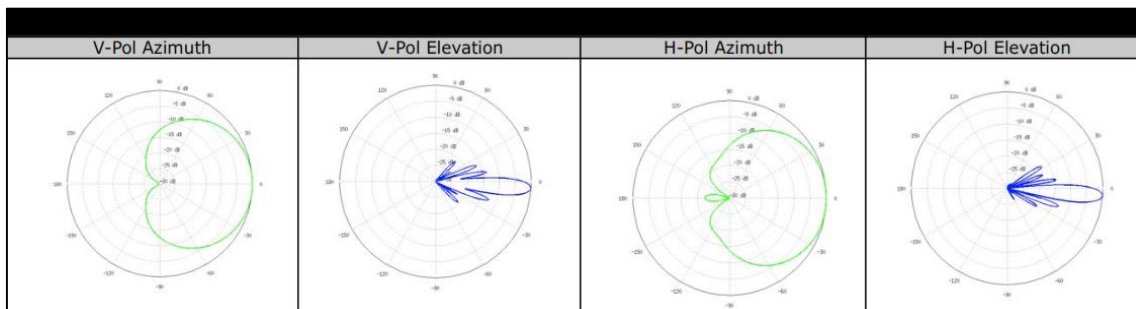
**AirMax Sector 2G-15-120**  
Hi-Gain 15dBi, 120deg.



MIMO TDMA Protocol System

Ubiquiti Networks Inc., 91 E. Tasman Dr., San Jose, CA 95134 www.ubnt.com

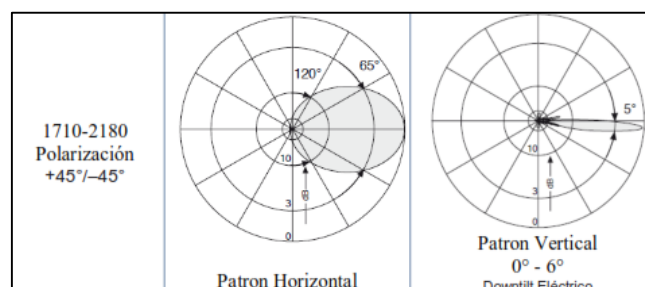
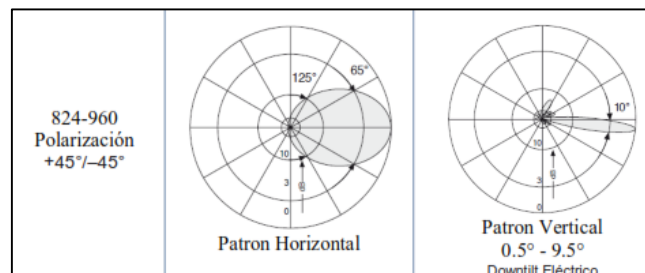
<b>Hi-Gain Airmax Sector 2G-120-15</b>		Return Loss
Antenna and Electrical Characteristics		Return Loss
	Frequency Range	2.3-2.7GHz
	Gain	15.0-16.0
	Polarization	Dual Linear
	Cross-pol Isolation	28dB min.
	Max VSWR	1.5:1
	Hpol Beamwidth (6dB)	123 deg.
	Vpol Beamwidth (6dB)	118 deg.
	Elevation Beamwidth	9 deg.
	Electrical Downtilt	4 deg.
	ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Dimensions	700x145x93 mm	
Weight	4.0 kg	
Windloading	160 mph	



Fuente: Ubiquiti Solutions


## ANEXO 2

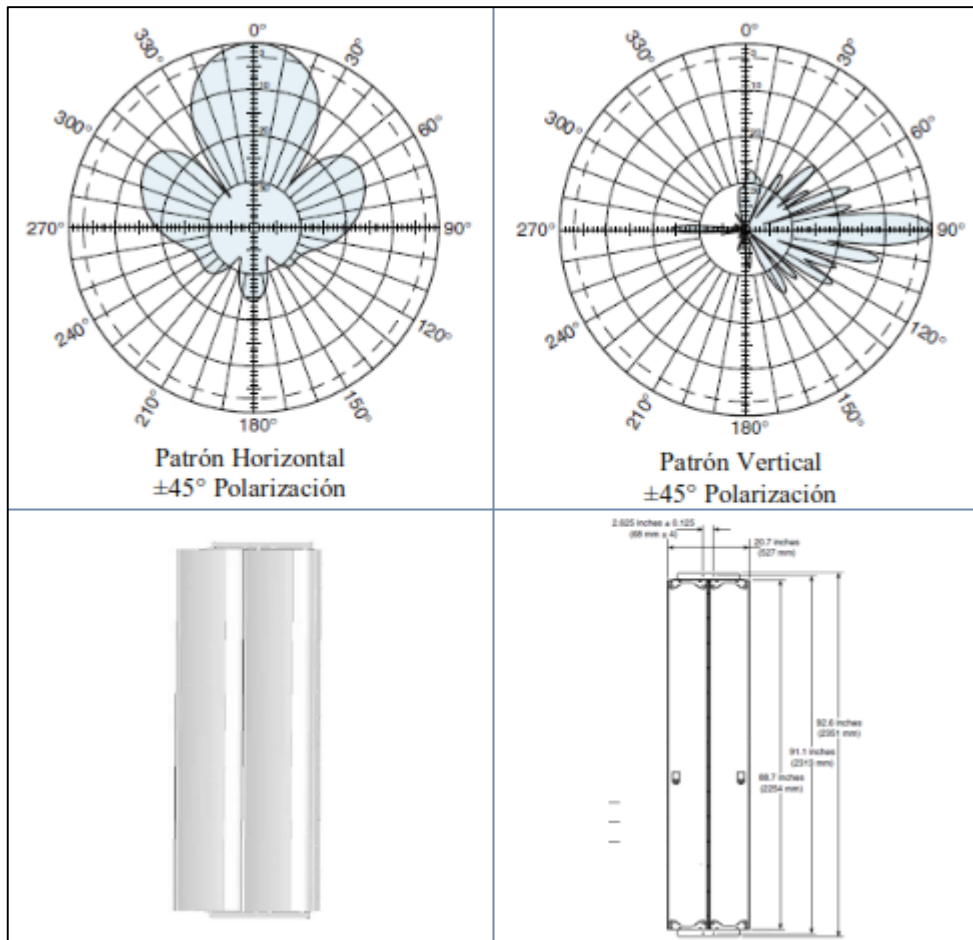
<b>KATHREIN</b> Antennen · Electronic		742 265 XX-Pol Dual Band			
		Antena de Banda Dual			
	824–960		1710–2180		
<b>Rango de Frecuencia</b>	824–894 MHz	880–960 MHz	1710–1880 MHz	1850–1990 MHz	1920–2180 MHz
<b>Polarización</b>	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
<b>Ganancia</b>	2 x 15.5 dBi	2 x 16 dBi	2 x 17.8 dBi	2 x 18.2 dBi	2 x 18.3 dBi
<b>Impedancia</b>	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
<b>Patrón Horizontal</b>					
<b>Ancho de Haz de media potencia</b>	68°	65°	67°	65°	63°
<b>Front to Back proporción (180°±30°)</b>	> 27 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
<b>Cruce de relación Polar, Dirección principal del sector (0°±60°)</b>	20 dB/ > 10 dB	20 dB/ > 10 dB	16 dB/ > 10 dB	18 dB/ > 10 dB	18 dB/ > 10 dB
<b>Patrón Vertical</b>					
<b>Ancho de Haz de media potencia</b>	10.5°	10°	5.2°	5.0°	4.9°
<b>Inclinación eléctrica continuamente ajustable</b>	0.5°–9.5°	0.5°–9.5°	0°–6°	0°–6°	0°–6°
<b>Aislamiento Intrasistema</b>	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
<b>Aislamiento Intrasistema</b>	Típicamente: > 50 dB (824–960 // 1710–2180 MHz)				



Fuente: Kathrein In. Scala Division

### ANEXO 3

	<b>800 10302 X-Polarized</b>		
	<b>33° Antena de Panel</b>		
<b>Rango de Frecuencias</b>	806–866 MHz	824–894 MHz	880–960 MHz
<b>Ganancia</b>	20.2 dBi	20.4 dBi	20.8 dBi
<b>Relación Front To Back</b>	>24 dB (co-polar)	>24 dB (co-polar)	>24 dB (co-polar)
<b>+45° and -45° Polarización Horizontal Ancho de Haz</b>	34° (Media Potencia)	33° (Media Potencia)	30° (Media Potencia)
<b>+45° and -45° Polarización Vertical Ancho de Haz</b>	8.5° (Media Potencia)	8.2° (Media Potencia)	7.5° (Media Potencia)
<b>Supresión del Primer Lóbulo Laterales sobre el Horizonte Sector 0° - 30°</b>	>15 dB >15 dB	>15 dB >15 dB	>15 dB >15 dB
<b>Polarización Cruzada Dirección Principal a 0°</b>	>25 dB	>25 dB	>25 dB



Fuente: Kethrein In. Scala Division