

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“ESTUDIO DE RADIACIONES NO IONIZANTES PARA UNA
ESTACIÓN BASE GSM 850 MHZ UBICADA EN LA
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO DE TRUJILLO”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

ÁREA :
TELECOMUNICACIONES

AUTOR :
Br. Jorge Juan Eduardo Ríos Solar

ASESOR :
Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez

Trujillo - Perú

2013

**“ESTUDIO DE RADIACIONES NO IONIZANTES PARA UNA
ESTACIÓN BASE GSM 850 MHZ UBICADA EN LA
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO DE TRUJILLO”**

Por :

Br. Jorge Juan Eduardo Ríos Solar

ID N° 000077051

Aprobado por:

Ing. FILIBERTO M. AZABACHE F.

PRESIDENTE

CIP N° 97916

Ing. MARCO T. TRUJILLO S.

SECRETARIO

CIP N° 82929

Ing. OVIDIO RAMOS ROJAS

VOCAL

CIP N° 92622

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ

ASESOR

CIP N° 80252

PRESENTACION

Señores miembros de Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, pongo a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTUDIO DE RADIACIONES NO IONIZANTES PARA UNA ESTACIÓN BASE GSM 850 MHZ UBICADA EN LA UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO DE TRUJILLO”**

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad.

Trujillo, Diciembre del 2013

Br. Jorge Juan Eduardo Ríos Solar

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Tesis

A Dios, que me brinda sabiduría, amor y paciencia.

A mi abuela Adelina, quien nunca dejó de brindarme palabras de aliento en los momentos donde más necesitaba apoyo moral.

A mis padres, por brindarme su apoyo, fortaleza incondicional y ánimos para salir adelante.

A mi asesor, el Ing. Eduardo Cerna, por brindarme de su experiencia para el desarrollo de mi Tesis.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado fuerzas y ganas de seguir superándome profesionalmente para establecer mis objetivos, realizar mis metas y cumplir mis responsabilidades, por brindarme salud y amor.

A la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, por brindarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de la Tesis de Grado y abrirme el camino hacia el ámbito laboral.

A todos mis profesores universitarios de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por brindarme conocimientos en cada una de las materias tomadas para mi desarrollo profesional.

A mis padres por haberme enseñado que mi mejor herencia es mi educación, por sus consejos, valores, motivación y amor, de los cuales podré seguir adelante y enfrentarme a los problemas que se presentarán en el transcurso de mi vida.

A mi asesor de tesis, el Ingeniero Eduardo Cerna Sánchez, por su confianza y apoyo en el transcurso de toda la investigación.

A mi enamorada Viera, por siempre brindarme apoyo moral y estar conmigo en las buenas y malas.

A todos Gracias

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio teórico de Radiaciones No Ionizantes en la banda GSM 850 MHz requerida por la empresa Claro Perú S.A.C. para estimar los niveles máximos de radiación de ondas electromagnéticas que se puede presentar dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y del establecimiento de los Límites Máximos Permisibles de la población universitaria hacia las antenas de telefonía celular. En el Primer Capítulo, se aborda la problemática actual de la posible instalación de una antena celular en las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Luego, en el Segundo Capítulo, se presenta el marco teórico donde se dan a conocer toda la fundamentación necesaria desde el Estudio de Radiaciones No Ionizantes hasta la posible instalación de una antena celular para la banda GSM 850 MHz en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. En el tercer Capítulo, se presenta el marco metodológico donde se manifestará los materiales, instrumentos, procedimiento y métodos de análisis y cálculos para el desarrollo de la Tesis. Posteriormente, en el Cuarto Capítulo, se desarrollarán los cálculos necesarios en el Proyecto de Tesis del estudio de Radiaciones No Ionizantes y la simulación de cobertura en la UPAO - Trujillo. Después, en el Quinto Capítulo, se darán los análisis de resultados, corroborando si es que los resultados cumplen con la Normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por consiguiente, en el Sexto Capítulo se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones a manera de corroborar la hipótesis previamente planteada en el trabajo. Finalmente, se colocarán las referencias bibliográficas y los anexos respectivos para un mayor conocimiento de algunos puntos de la tesis que no fueron indispensables mencionarlos en los capítulos anteriores.

ABSTRACT

The present work is focused on the study of Non-Ionizing Radiation over GSM 850 MHz band, which is required for Claro Peru S.A.C. in order to estimate radiation's maximum levels of electromagnetic fields that could be presented inside of Trujillo's Antenor Orrego's Private University and also about the establishment of permissible maximum levels between the university community and the cellular antenna. On the First Chapter, it is described the current problems about a possible way to the installation of one cellular antenna inside Antenor Orrego's Private University. Then, on the Second Chapter, it is presented the theoretical framework where it is all relevant information from the Non-Ionizing Radiation's Study to the possible installation of the cellular antenna in GSM 850 MHz band in UPAO University. On the Third Chapter, it is described the methodological framework where there are components, instruments, procedure and analyzing and calculating methods for the Thesis' performance. Consequently, on the Fourth Chapter, it will develop the calculation necessary in the project for the study of Non-Ionizing Radiations and the simulation of coverage in UPAO - Trujillo. After, on the Fifth Chapter, it will give the analysis of results, to corroborate if the results reach with MTC norms. Therefore, on the Sixth Chapter, conclusions and recommendations in order to corroborate the hypothesis set previously in the work. Finally, it is described the bibliography and the appendix to have a better knowledge about some points of the Thesis.

ÍNDICE GENERAL

HOJA DE FIRMAS	ii
PRESENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	15
CAPÍTULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1. EL PROBLEMA	17
1.1.1. Planteamiento del Problema	18
1.1.2. Formulación del Problema.....	19
1.1.3. Alcance	20
1.1.4. Justificación de la Investigación	20
1.1.5. Aportes	20
1.2. ANTECEDENTES	21
1.3. HIPÓTESIS	26
1.3.1. General	26
1.3.2. Variables	26
1.4. OBJETIVOS	27
1.4.1. Objetivo General	27
1.4.2. Objetivos Específicos	27
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	28
2.1. FUNDAMENTOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	29
2.1.1. Campo Eléctrico.....	29
2.1.2. Campo Magnético	31
2.1.3. Onda Electromagnética.....	32
2.1.4. Campo Electromagnético.....	35
2.2. FUNDAMENTOS DE RADIACIONES	37
2.2.1. Radiaciones Ionizantes	37
2.2.2. Radiaciones No Ionizantes.....	38
2.3. REGIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	39

2.3.1.	Región de Campo Cercano	39
2.3.2.	Región de Campo Lejano	39
2.4.	FUNDAMENTOS DE ANTENAS	40
2.4.1.	Antena.....	40
2.4.2.	Simbología	40
2.4.3.	Principio de Reciprocidad.....	42
2.4.4.	Directividad y Ganancia de Antena.....	42
2.4.5.	Área Efectiva de Antena	43
2.4.6.	Polarización de Antenas	44
2.4.7.	Patrón de Radiación de Antenas.....	45
2.4.8.	Regiones de Radiación de Antena.....	47
2.4.9.	Ancho de Banda de Antenas	49
2.4.10.	Algunas Aplicaciones de Antenas	49
2.5.	SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN MÓVILES.....	53
2.5.1.	Composición del Sistema de Radiocomunicaciones Móviles	54
2.5.2.	Clasificación de los Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles	54
2.5.3.	Clase de Canales de Comunicaciones Móviles	57
2.5.4.	Sistemas de Radiotelefonía Pública Móvil	59
2.5.5.	Sistemas de Radiocomunicación Celular.....	59
2.5.6.	Estructura de Sistema de Radiocomunicación Celular	61
2.6.	SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES (GSM).....	63
2.6.1.	Definiciones Generales de Global System for Mobiles	63
2.6.2.	Requisitos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles	63
2.6.3.	Arquitectura del Sistema Global para Comunicaciones Móviles	64
2.6.4.	Características de Tecnología GSM	67
2.7.	PLAN DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS	70
2.5.1.	Nomenclatura de Bandas de Frecuencia	70
2.5.2.	Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	71
2.8.	NORMAS TÉCNICAS DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	74
2.8.1.	Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones – Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.....	74
2.8.2.	Procedimiento y Métodos de Análisis Técnicos	76
2.8.3.	Distancias de Seguridad.....	77
2.8.4.	Determinación de la Longitud Eléctrica de la Antena	79
2.8.5.	Determinación de las Regiones de Campo Electromagnético.....	79
2.8.6.	Estimación de los Valores de Intensidad de Campo y/o Densidad de Potencia.....	80

2.8.7. Cálculos Referenciales para la Determinación de la Exposición del Campo Electromagnético.....	82
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	87
3.1. Tipo de Investigación.....	88
3.2. Diseño de la Investigación	88
3.3. Recolección de Datos	89
3.4. Materiales.....	89
a. Información de población universitaria del Campus UPAO – Trujillo.....	90
b. Diagramas de Infraestructura de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.....	90
c. Encuestas Aplicadas a población universitaria del Campus UPAO - Trujillo.....	93
d. Reuniones y Entrevistas con Representante de Operador Claro Perú S.A.C.	94
e. Reuniones y Entrevistas con Representante de Operador Movistar Perú S.A.C.	94
f. Información Técnica acerca del equipamiento necesario de una Estación Base GSM 850 MHz en el Campus UPAO – Trujillo	95
g. Información Técnica utilizada para el Cálculo de Radiaciones No Ionizantes según Normativa Vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones	96
3.5. Procedimiento	97
a. Información sobre Usuarios que utilizan el servicio de telefonía móvil en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.....	98
b. Encuesta realizada a la población universitaria en general en el Campus UPAO - Trujillo ...	98
c. Entrevista a los Principales Operadores de Telefonía Móvil en Trujillo.....	98
d. Clasificación de Información sobre la Red de Telefonía Móvil Claro Perú S.A.C. en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.	99
e. Procesamiento de Información acerca de los equipos y dispositivos necesarios para la instalación de una Estación Celular GSM.....	99
f. Selección de Equipamiento de Site BTS GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.....	99
g. Elaboración de Herramienta para Cálculo Estimado de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	100
h. Normativa MTC Vigente de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Antenas Celulares GSM-850.....	100
i. Proyección de Resultados	101
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO	102
4.1. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	103
4.2. Operador Celular Claro Perú S.A.C.....	106
4.3. Sites Claro aledaños a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	107

4.4. Estación Base GSM 850 MHz.....	112
4.5. Cobertura Sites Aledaños a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.....	120
4.6. Posible Ubicación de Estación BTS GSM 850 MHz	122
4.7. Definición de Posibles Azimuts.....	126
4.8. Parámetros de Radiación del Site UPAO	129
4.9. Estimación de Niveles de Exposición GSM 850 MHz Campus UPAO - Trujillo.....	131
a. Sector 1.....	135
b. Sector 2	142
c. Sector 3.....	149
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	156
5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	157
5.1.1. Cuadros de Resultados de Cada Sector según Normativa MTC	157
5.1.2. Porcentajes de Picos más Altos en Cada Sector según Normativa MTC	163
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	168
6.1. CONCLUSIONES	169
6.2. RECOMENDACIONES.....	170
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	171
7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
7.1.1. Libros.....	172
7.1.2. Tesis	172
7.1.3. Autor corporativo - informe.....	173
7.1.4. Documentos	174
ANEXOS.....	175
Anexo1. Preguntas de Entrevista Realizada a Representante de Operador Claro Perú S.A.C. en Trujillo.....	176
Anexo 2. Encuesta para Población Estudiantil de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	178
Anexo 3. Estimación de Niveles de Exposición GSM 850 MHz en el Campus UPAO – Trujillo,..	179
Anexo 4. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes según Acuerdo de Salzburgo	250

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Campo Eléctrico ejercido entre dos cargas opuestas.	30
Figura 2.2. Campo Magnético ejercido entre dos cargas opuestas.....	32
Figura 2.3. Líneas de campo eléctrico y magnético.	33
Figura 2.4. Espectro electromagnético y algunas aplicaciones.	37
Figura 2.5. Simbología de algunos tipos de antenas.....	41
Figura 2.6. Tipos de Polarización de Antenas.....	45
Figura 2.7. Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de Antena Omnidireccional.	46
Figura 2.8. Patrón de Radiación de Antena Omnidireccional en 3D.....	47
Figura 2.9. Regiones de Radiación de Antenas.....	47
Figura 2.10. Patrón de Radiación Horizontal Dipolo $\lambda/2$	50
Figura 2.11. Patrón de Radiación Vertical de Antena Dipolo $\lambda/2$	50
Figura 2.12. Estructura de la Antena Yagui.....	51
Figura 2.13. Antena Parabólica de Foco Centrado.....	52
Figura 2.14. Antena Parabólica de Foco Desplazado.....	52
Figura 2.15. Tipo de Emisión de Frecuencias Radioeléctricas.....	56
Figura 2.16. Sistemas Celulares GSM.....	60
Figura 2.17. Arquitectura del Sistema GSM.....	66
Figura 2.18. Mapa de Asignación de Frecuencias a Nivel Internacional.....	69
Figura 2.19. Regiones de Atribución de Bandas de Frecuencia.....	70
Figura 2.20. Imagen de Regiones de Campos.....	81
Figura 2.21. Configuración para cálculo de exposición RNI a nivel del suelo.....	83
Figura 2.22. Potencia de Exposición a nivel de suelo con $P_{\text{pire}} = 1000 \text{ W}$	84
Figura 2.23. Configuración para cálculo de exposición RNI en edificio adyacente.....	85
Figura 2.24. Potencia de Exposición en edificio adyacente con $P_{\text{pire}} = 1000 \text{ W}$	86

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 3.1. Plano de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2013.....	91
Figura 3.2. Plano de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2015.....	92

CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

Figura 4.1. Plano Ubicación de Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.....	103
Figura 4.2. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2013.....	104
Figura 4.3. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2015.....	105
Figura 4.4. Site BTS en Orlando's.....	107
Figura 4.5. Site BTS en Central Larco.....	108
Figura 4.6. Site BTS Mimetizada en Avenida América Sur.....	109
Figura 4.7. Site BTS en Los Ángeles.....	110
Figura 4.8. Plano de Sites BTS aledañas a la UPAO-Trujillo.....	111
Figura 4.9. Estructura Física del MRFU V2 - Huawei.....	113
Figura 4.10. Estructura Lógica del MRFU.....	114
Figura 4.11. Estructura Lógica del BBU3900 - Huawei.....	115
Figura 4.12. Estructura Física del BBU3900.....	116
Figura 4.13. Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM.....	117
Figura 4.14. Diagrama de la Configuración y Cableado de una BTS.....	118
Figura 4.15. Imagen de la BTS3900-Huawei.....	119

Figura 4.16. Cobertura de Sites ubicados cerca de la UPAO - Trujillo.....	120
Figura 4.17. Pabellón D de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	122
Figura 4.18. Desventaja de instalación de Site en el Pabellón D - UPAO.....	123
Figura 4.19. Pabellón G de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	124
Figura 4.20. Site BTS GSM 850 MHz en Pabellón G UPAO - Trujillo.....	125
Figura 4.21. Cobertura estimada para servicio GSM Claro en UPAO - Trujillo	126
Figura 4.22. Sector 1 de Site BTS UPAO - Trujillo.....	127
Figura 4.23. Sector 2 de Site BTS UPAO - Trujillo.....	128
Figura 4.24. Sector 3 de Site BTS UPAO - Trujillo.....	128
Figura 4.25. Patrón de Radiación Horizontal de antena Andrew	129
Figura 4.26. Patrón de Radiación Vertical de antena Andrew	130
Figura 4.27. Herramienta de Cálculo de Radiaciones No Ionizantes.	133
Figura 4.28. Estudio de Sector 1 de Site UPAO - Trujillo	135
Figura 4.29. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 01 - Sector 1.....	136
Figura 4.30. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 01 - Sector 1.....	136
Figura 4.31. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 04 - Sector 1.....	137
Figura 4.32. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 04 - Sector 1.....	137
Figura 4.33. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 06 - Sector 1.....	138
Figura 4.34. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 06 - Sector 1.....	138
Figura 4.35. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 09 - Sector 1.....	139
Figura 4.36. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 09 - Sector 1.....	139
Figura 4.37. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 12 - Sector 1.....	140
Figura 4.38. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 12 - Sector 1.....	140
Figura 4.39. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 14 - Sector 1.....	141
Figura 4.40. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 14 - Sector 1.....	141
Figura 4.41. Estudio de Sector 2 de Site UPAO - Trujillo	142
Figura 4.42. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 07 - Sector 2.....	143
Figura 4.43. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 07 - Sector 2.....	143
Figura 4.44. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 11 - Sector 2.....	144
Figura 4.45. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 11 - Sector 2.....	144
Figura 4.46. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 14 - Sector 2.....	145
Figura 4.47. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 14 - Sector 2.....	145
Figura 4.48. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 17 - Sector 2.....	146
Figura 4.49. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 17 - Sector 2.....	146
Figura 4.50. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 18 - Sector 2.....	147
Figura 4.51. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 18 - Sector 2.....	147
Figura 4.52. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 21 - Sector 2.....	148
Figura 4.53. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 21 - Sector 2.....	148
Figura 4.54. Estudio de Sector 3 de Site UPAO - Trujillo	149
Figura 4.55. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 02 - Sector 3.....	150
Figura 4.56. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 02 - Sector 3.....	150
Figura 4.57. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 03 - Sector 3.....	151
Figura 4.58. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 03 - Sector 3.....	151
Figura 4.59. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 04 - Sector 3.....	152
Figura 4.60. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 04 - Sector 3.....	152
Figura 4.61. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 05 - Sector 3.....	153
Figura 4.62. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 05 - Sector 3.....	153
Figura 4.63. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 06 - Sector 3.....	154

Figura 4.64. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 06 - Sector 3.....	154
Figura 4.65. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 07 - Sector 3.....	155
Figura 4.66. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 07 - Sector 3.....	155

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 5.1. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en el Sector 1.....	158
Figura 5.2. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 01.....	159
Figura 5.3. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en Sector 02.....	160
Figura 5.4. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 02.....	161
Figura 5.5. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en Sector 03.....	162
Figura 5.6. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 03.....	162

ANEXOS

Anexo 3. Gráficas de Límites Máximos Permisibles en los tres Sectores de UPAO.....	179
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1. Frecuencias del Espectro Electromagnético	36
Tabla 2.2. Bandas de frecuencia para sistemas PMR	55
Tabla 2.3. Características de asignación de Bandas de Frecuencia	55
Tabla 2.4. Asignación de Banda de Frecuencias en GSM	68
Tabla 2.5. Resumen de Especificaciones GSM.....	69
Tabla 2.6. Bandas de Frecuencias empleadas en Radiocomunicaciones	71
Tabla 2.7. Atribución de Bandas de Frecuencias	72
Tabla 2.8. Registro Nacional de Frecuencia GSM-850.....	73
Tabla 2.9. Asignación de Sub-bandas en Banda B'	73
Tabla 2.10. Niveles de Referencia para Exposición Ocupacional.....	74
Tabla 2.11. Niveles de Referencia para Exposición Poblacional	75
Tabla 2.12. Magnitudes Físicas para el cálculo de RNI	75
Tabla 2.13. Ecuaciones de distancias para Límites de Exposición Ocupacional	78
Tabla 2.14. Ecuaciones de distancias para Límites de Exposición Poblacional	78

CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

Tabla 4.1. Estimación de Población Universitaria en Campus UPAO - Trujillo	104
Tabla 4.2. Características Técnicas del MRFU V2 – Marca Huawei.....	112
Tabla 4.3. Descripción de los puertos del MRFU	114
Tabla 4.4. Características Técnicas del MRFU V2 – Marca Huawei.....	114
Tabla 4.5. Características Técnicas de Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM.....	118
Tabla 4.6. Datos Técnicos de Operador de Telefonía Celular	131
Tabla 4.7. Datos Técnicos de Site BTS	131
Tabla 4.8. Dimensiones Físicas de Site BTS	131
Tabla 4.9. Datos Técnicos de Antena de Telefonía Celular.....	132
Tabla 4.10. Dimensiones Físicas de Antena de Telefonía Celular	132
Tabla 4.11. Datos Técnicos Feeder para BTS.....	132
Tabla 4.12. Otras Variables a utilizar	132

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 5.1. Información para el Estudio de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo	157
Tabla 5.1. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 01.	163
Tabla 5.2. Resultados de Cálculo Teórico RNI según Normativa MTC	158
Tabla 5.2. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 01.	164
Tabla 5.3. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 02	165
Tabla 5.4. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 02	166
Tabla 5.5. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 03	167
Tabla 5.6. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 03	167

ANEXOS

Tabla A4.1. Niveles de Exposición RNI según la SBM.....	250
---	-----

CAPÍTULO I
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. EL PROBLEMA

Hasta el año 2003, los operadores de servicios móviles locales lograban otorgar cobertura a toda la ciudad de Trujillo con menos de 10 estaciones celulares empleando tecnología CDMA2000 y GSM¹. Este escenario ha ido cambiando notablemente con el aumento de la demanda de voz y datos dada a partir del año 2007, tal y como se puede apreciar en reportes estadísticos de OSIPTEL².

Para dar a conocer los esquemas empleados en la red de un operador y la ejecución de nuevas instalaciones, el personal de ingeniería emplea documentos denominados Workorders. En el caso del operador Claro Perú S.A.C., según la Workorder N° 121 055, se aprecia que emplea alrededor de 40 estaciones celulares para atender la creciente demanda de servicios móviles en la ciudad de Trujillo.

El autor C. Chávarri Chávez en su tesis titulada “Residencia Estudiantil para Estudiantes de la UPAO - Trujillo”, menciona que el Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo posee una extensión de más de 67 000 m² y alberga más de 13 000 estudiantes durante sus ciclos regulares³. Esto nos permite deducir que el campus de la universidad es un punto de concentración de tráfico de voz y datos que podría experimentar degradación del servicio móvil por congestiónamiento de usuarios.

De acuerdo a entrevistas con representantes de los principales operadores móviles locales existe una problemática de congestiónamiento del servicio GSM 850 MHz en la Universidad Antenor Orrego, y a la vez existe un importante interés por solucionar la problemática ubicando una estación celular dentro del campus⁴.

El escenario de instalación de una estación celular en el Campus UPAO – Trujillo podría traer beneficios para el operador y la universidad, sin embargo también podría ocasionar discrepancias en torno a los posibles efectos de las Radiaciones No Ionizantes provenientes de la estación celular.

¹ CLARO S.A.C. *Workorder N° 121 055*.

² OSIPTEL (2007). *Perú: Evolución del Acceso, la Cobertura y la Penetración en los Servicios de Telefonía*. Lima - Perú. Reporte N° 1 SGI-GPR. Pág. 2.

³ CHÁVARRI, C. (2011). *Residencia Estudiantil para Estudiantes Foráneos de la UPAO-Trujillo*. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú. Pág. 12.

⁴ ANEXO 1. Entrevista realizada a representante de operador Claro S.A.C. en Trujillo.

El Organismo de Supervisión de la Inversión Privada en Telecomunicaciones, establece que se debe de asegurar el cumplimiento de la Normativa establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se requiere que los niveles de radiación irradiados por la estación celular no sobrepasen los Límites ICNIRP (International Commission for Non Ionizing Radiation Protection)⁵.

Actualmente no se ha realizado estudio alguno acerca del posible impacto que podría tener la instalación de una estación celular en el Campus de la Universidad Antenor Orrego de Trujillo, en cuanto a cuáles podrían ser los posibles niveles de Radiación No Ionizante a los que estaría expuesta la población universitaria.

1.1.1. Planteamiento del Problema

El problema se basa en la ausencia de una estimación de los niveles de Radiaciones No Ionizantes que podría generar una Estación Celular GSM 850 MHz, instalada en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, cuyos niveles de exposición de ondas electromagnéticas se irradiarían a toda la población universitaria del Campus UPAO - Trujillo.

a. Características de la Realidad Problemática

- Interés de operadores móviles locales por ubicar una Estación Celular en el Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.
- Ausencia de un estudio que permita evaluar los niveles de exposición permisibles establecidos por Normativa MTC.

b. Análisis de las Características

- **Interés de operadores móviles locales por ubicar una Estación Celular en el Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.**

⁵ OSIPTEL (2013). *Emisiones Radioeléctricas*. Lima: OSIPTEL PL 1374/2012 CR. Pág. 6.

Debido a la creciente demanda de servicios de voz y datos que se acentúa durante los semestres regulares, se ha llegado a determinar que en el ciclo académico 2013-I, La Universidad Privada Antenor Orrego albergó 19 000 estudiantes, 1 200 docentes y 500 administrativos, lo cual hace un total de 20 700 usuarios potenciales⁶. Por lo que la misma universidad es considerada por los operadores móviles locales como punto estratégico para la atención de tráfico.

Se conoce que existen antecedentes y acuerdos con empresas de servicios de telefonía móvil en otras universidades tales como la Pontificia Universidad Católica del Perú en la cual el operador Claro Perú S.A.C. ha ubicado una estación celular en el campus, con el acuerdo que los estudiantes de Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Telecomunicaciones tengan un acceso especial al Site con el fin de complementar los conocimientos teóricos de los cursos de Sistemas Celulares a través de la observación directa de la operación de esta estación⁷.

- **Ausencia de un estudio que permita evaluar los niveles de exposición permisibles establecidos por Normativa MTC.**

Actualmente se desconoce el impacto de ondas electromagnéticas que podría tener la instalación de una estación celular dentro del campus UPAO - Trujillo. No se ha proyectado a la fecha algún estudio realizado sobre Radiaciones No Ionizantes que permita evaluar cómo podrían distribuirse los niveles de exposición hacia la población universitaria aledaña en caso de instalarse una infraestructura de este tipo, ni tampoco se tienen recomendaciones a fin de minimizar el posible riesgo de exposición ocupacional y poblacional⁸.

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cómo estimar y evaluar el posible impacto generado por Radiaciones No Ionizantes que puede ocasionar una Estación Celular GSM 850 MHz cuyos niveles de exposición de ondas electromagnéticas se irradiarían a toda la población de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo?

⁶ ANEXO 3. Entrevista a representante de oficina de Administración y Recursos Humanos UPAO Trujillo.

⁷ ORTEGA, D. Blog PUCP. Fuente: <http://blog.pucp.edu.pe/item/20213/visita-a-la-radiobase-pucp>.

⁸ ANEXO 1. Entrevista realizada a representante de operador Claro S.A.C. en Trujillo.

1.1.3. Alcance

Este trabajo se delimita a la estimación y evaluación teórica, del impacto generado por Radiaciones No Ionizantes del Servicio de Telefonía Móvil GSM 850 MHz en la exposición ocupacional y poblacional dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, realizando una comparación con los Límites Máximos Permisibles establecidos por Normativa MTC y recomendando distancias de protección entre los usuarios y la Estación Base.

1.1.4. Justificación de la Investigación

- a. El presente proyecto de tesis beneficiará a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo gracias al análisis y estimación para una futura instalación de una Estación Base celular en la frecuencia de 850 MHz.
- b. A su vez, se obtendrán resultados estimados de los parámetros necesarios para conocer los Niveles de Densidades de Potencia y emisiones Radioeléctricas, reconociendo que las Radiaciones No Ionizantes se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles.
- c. El presente trabajo servirá como antecedente para futuros trabajos de investigación de Radiaciones No Ionizantes en casos de Telefonía Celular a diferentes frecuencias, Radio y Televisión.

1.1.5. Aportes

- Se obtendrá de manera detallada el estudio teórico de los Límites Máximos Permisibles de las Radiaciones No Ionizantes, según Normativa MTC, generadas por una Estación de Radiodifusión Celular en la banda GSM 850 MHz en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.
- Se diseñará una hoja de cálculo para determinar el criterio de los Límites Máximos Permisibles otorgados por Normativa MTC, recomendaciones ICNIRP y las

distancias mínimas que un usuario o trabajador debe mantener en la Estación Base dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

1.2. ANTECEDENTES

Tras una breve revisión de algunos registros bibliográficos de la Universidad y otras fuentes, se ha encontrado cinco investigaciones preliminares que servirá de referencia para el desarrollo del presente estudio:

a. “SOFTWARE APLICATIVO PARA EL ANÁLISIS PREDICTIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES DE CAMPO ELÉCTRICO Y LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PRODUCIDA POR LAS ESTACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL”

Tesis de Pregrado

Autor : Br. Fernando Arturo Gallegos Paz.

Fuente : Universidad Católica de Santa María.

Ubicación: Arequipa - Perú.

Año : 2009.

La presente tesis fundamenta dos problemas para su posterior desarrollo acerca de la instalación de estaciones celulares en la ciudad de Arequipa: el carecer de un estudio predictivo de Radiaciones No Ionizantes y la ausencia de control sobre las estaciones base de la ciudad. El incremento de la demanda de usuarios lleva consigo el incremento de estaciones base debido al uso del medio de comunicación móvil (dispositivos celulares) que la población utiliza. En el ámbito teórico, para poder simular el número de estaciones celulares ubicadas en diferentes zonas de la ciudad y también poder programar la ubicación de una nueva estación base para aumentar la eficiencia del número de llamadas a utilizar, se emplea el MatLab, consiguiendo así los datos necesarios, cumpliendo la Normativa MTC y extrayendo gráficas de distribuciones de potencia en 2D y 3D. Además, se utilizó el programa GoogleEarth para vincularlo al MatLab y así predecir las posiciones de estaciones celulares y realizar las mediciones respectivas. Finalmente en el ámbito aplicativo, se tomaron dos metodologías para estimar el error teórico - experimental de Radiaciones No Ionizantes: la primera de

banda ancha, con la utilización de un analizador de campos electromagnéticos (equipo EMR-300), un conversor óptico/eléctrico y el puerto serial de una computadora portátil; el segundo método de banda angosta, con el uso de un analizador de espectros, con distintos tipos de antenas de acuerdo a los rangos de frecuencia en evaluación.

b. “ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS MEDICIONES DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN LAS RADIOBASES DE TELEFONÍA MÓVIL EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”

Tesis de Pregrado

Autor : Br. Ramiro Santiago Noriega Mora.

Fuente : Universidad Nacional de Chimborazo.

Ubicación : Riobamba - Ecuador.

Año : 2009.

La presente tesis analiza el estudio de Radiaciones No Ionizantes por la creciente demanda de usuarios móviles de diferentes operadores en la ciudad de Riobamba, para la instalación de una nueva estación celular. Se utiliza el método predictivo para el estudio en la zona donde se desea colocar la estación base, donde las bandas de frecuencia a utilizar son 800 MHz y 1900 MHz, y así elaborar gráficas de densidad de potencia de emisión, distancia de emisión y límites para el ámbito ocupacional y poblacional de los alrededores a una determinada estación celular. Para el desarrollo del estudio de Radiaciones No Ionizantes se utilizaron tres operadoras móviles diferentes en cada estación celular de Riobamba; y utilizando normativa ecuatoriana para evitar el impacto de radiaciones electromagnéticas, se encontró que los Límites Máximos experimentales emitidos por Radiaciones No Ionizantes se encontraron debajo de lo establecido en la Normativa de Ecuador. Por lo que, se concluye que no existe impacto en la salud ocupacional y poblacional dentro de las bandas de frecuencias de 800 MHz y 1900 MHz. Asimismo, se concluyó que se desconocen los efectos a largo plazo de los campos electromagnéticos por emisión de Radiaciones No Ionizantes en la zona de Riobamba.

c. **“MEDICIÓN Y SIMULACIÓN DE RNI PARA LAS BANDAS MF, HF, VHF Y UHF DE BROADCAST EN LA CIUDAD DE CUENCA”**

Tesis de Pregrado

Autores : - Br. Diego Manuel Barros Sarmiento.
- Br. Cristian Fernando Jimbo Pinos.

Fuente : Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Ubicación: Cuenca - Ecuador.

Año : 2011.

El presente trabajo de tesis consiste en la utilización de uno de los métodos computacionales para el estudio de Radiaciones No Ionizantes de las frecuencias MF, HF, VHF y UHF (300 KHz - 3GHz). Se tienen dos metodologías para el cálculo y desarrollo de la presente tesis: el cálculo experimental y el cálculo teórico. Para el cálculo experimental se utiliza un analizador de campos electromagnéticos, consiguiendo así los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes de las estaciones celulares. Para el cálculo teórico, se empleó el Método de Elementos Finitos, el cual permite una mejor comprensión de cómo se realizan las simulaciones de los campos electromagnéticos computacionales, debido a que reduce el número de ensayos experimentales y los riesgos de cálculos y mediciones. Por lo que, las aplicaciones del Método de Elementos Finitos son: resolución de problemas estacionarios, donde los problemas no varían con el tiempo; problemas de autovalores, donde los problemas se determinan algunos valores críticos para ciertos parámetros del sistema; problemas de propagación, los cuales son variantes con el tiempo. Por lo tanto, para comparar los cálculos experimentales realizados en las estaciones celulares de la ciudad de Cuenca con el Método de Elementos Finitos se utilizó el programa RadioMobile, la cual se aproxima a los valores reales de la medición de Radiaciones No Ionizantes, estando basado en el modelo ITM (Irregular Terrain Model) o de Longley-Rice, conociendo así ciertas variables para el estudio respectivo.

d. “ESTUDIO TEÓRICO DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA EDUCATIVA EN ONDA MEDIA OM RADIO ESTACIÓN UPAO 830 KHz, EMPLEANDO EL MÉTODO PREDICTIVO”

Paper de Investigación Científica

Autores : - Blas Daniel Figueroa Torres.

- Víctor Humberto Vega Rodríguez.

- César Obed Zavaleta Castro.

Asesor : - Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez.

Fuente : Universidad Privada Antenor Orrego.

Ubicación: Trujillo - Perú.

Año : 2012.

El trabajo de investigación consiste en la realización del análisis, cálculos y evaluación correspondientes de los valores hallados en la transmisión de Onda Media desde la Estación de Servicio de Radiodifusión UPAO en la banda de radio AM 830 kHz; y si éstos, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, considerando la salud de la población circundante a las antenas analizadas, conforme a las normas correspondientes otorgadas y evaluadas por el MTC y el ICNIRP. Se emplea el Excel como herramienta matemática para el cálculo de antenas hasta las distancias máximas permisibles a nivel ocupacional y poblacional de Radiaciones No Ionizantes. Por lo que se llegó a concluir que los resultados obtenidos del estudio teórico de Radiaciones No ionizantes tanto en el ámbito ocupacional como el poblacional en la banda AM 830 KHz no superan los límites máximos permisibles, por lo que cumplen con la Normativa MTC y la población no se vería afectada por las emisiones electromagnéticas. Entonces, se puede destacar que es viable la instalación de una antena de Servicio de Radiodifusión Sonora, debido a que los resultados de los valores hallados teóricamente de las Radiaciones No Ionizantes en la banda AM 830 KHz se encuentran debajo de los Límites Máximos Permisibles que establece la Norma de Calidad DS-038-2003-MTC elaborada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

e. “ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS EMITIDAS POR LAS ANTENAS DE LAS RADIOBASES CELULARES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

Tesis de Pregrado

Autores : - Br. José Vicente Avendaño Aguilera.

- Br. Katherine Alexandra Gonzaga Orellana.

- Br. José Francisco Ruiz Reyes.

Fuente : Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

Ubicación: Guayaquil - Ecuador.

Año : 2013.

La presente tesis describe el análisis técnico de las radiaciones generadas por diferentes tipos de antena de telefonía celular. El pasar de los años hace que la demanda de mantenerse comunicado sea mayor. Para que los operadores mantengan su servicio, se hace necesario instalar más antenas celulares con el fin de evitar congestión y caída de llamadas, generando polémica por el posible impacto manifestado por las emisiones que ocasionan dichas antenas. Para ello, se requiere que las instalaciones de estaciones base sean remodeladas debido a la poca altura que éstos poseen. Asimismo, los límites de Radiaciones No Ionizantes en la ciudad de Guayaquil cumplen con la Normativa que rigen su exposición ocupacional y poblacional, por lo que no genera un impacto ambiental en la salud de las personas. Entonces, de acuerdo al análisis realizado de las radiaciones electromagnéticas emitidas por las estaciones celulares, mientras mayor tiempo esté operando la antena, se tendrá un mayor valor significativo en la densidad de potencia de la misma, por lo que aumenta el riesgo a posibles efectos en la salud humana.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. General

Mediante un estudio de Radiaciones No Ionizantes, de acuerdo a Normativa MTC, se podrá estimar y evaluar el impacto generado por ondas electromagnéticas de una Estación Móvil GSM 850 MHz en la exposición ocupacional y poblacional dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

1.3.2. Variables

➤ Variable Independiente

Estudio de Radiaciones No Ionizantes de una Estación Móvil GSM 850 MHz, de acuerdo a Normativa MTC.

a. Indicadores de Variable Independiente

- Coordenadas Geográficas de la Estación Base.
- Potencia de Transmisión de la Estación Base.
- Ganancia, polarización y patrón de radiación de Antena.
- Frecuencia de Operación de la Estación Base.
- Apertura e inclinación del Haz de la Antena.
- Ecuaciones de Propagación de Radiación.
- Distribución de Densidad de Potencia, Niveles de Campo Eléctrico y Magnético.

➤ Variable Dependiente

Impacto de ondas electromagnéticas en la exposición ocupacional y poblacional dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

b. Indicadores de Variable Dependiente

- Distancia Permisible a Nivel Ocupacional.
- Distancia Permisible a Nivel Poblacional.
- Porcentajes de Comparación con Niveles ICNIRP.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Realizar un estudio de Radiaciones No Ionizantes, según normativa MTC, para una Estación Móvil GSM 850 MHz ubicada en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir los modelos de cálculo de Radiaciones No Ionizantes de acuerdo a Normativa MTC.
- Determinar las características técnicas típicas de una estación de Servicio Móvil GSM 850 MHz para su modelamiento.
- Aplicar los procedimientos de cálculos analíticos predictivos RNI para determinar la distribución de niveles de potencia y campo en los alrededores.
- Comparar los niveles obtenidos en el estudio con los límites recomendados por Normativa MTC.
- Elaborar recomendaciones para la instalación de una Estación Celular GSM en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

2.1.1. Campo Eléctrico

Es un fenómeno que ocurre por la interacción de dos o más cargas eléctricas (electrones) en el espacio libre o a través de un determinado material (conductores) a una determinada distancia, apreciando una fuerza eléctrica entre las mismas⁹.

El libro titulado “*Física Universitaria Vol.2*” de Serway y Jewett, el concepto de campo eléctrico se refiere a dos cargas eléctricas que interactúan en una determinada región del espacio, donde existen dos tipos de cargas eléctricas: la primera llamada carga fuente, la cual tiene por sí un campo eléctrico; y la carga de prueba, la cual interactúa con la carga fuente para generar interacción entre dichas cargas.

El campo eléctrico es una cantidad vectorial; la región que rodea una carga eléctrica, en el cual la magnitud y dirección de la fuerza sobre una prueba de carga hipotética se encuentra definida en algún punto, las cuales son definidas a través de las líneas de campo eléctrico que se direcciona gracias a la fuerza eléctrica que dos o más cargas ejercen entre sí.

Según el libro Física Universitaria Vol. 2 de Sears & Zemansky (2009, pág. 918-919), “se representan las situaciones eléctricas en dos etapas:

1. Una distribución de carga eléctrica en reposo crea un campo eléctrico \vec{E} en el espacio circundante.
2. El campo eléctrico ejerce una fuerza $\vec{F} = q\vec{E}$ sobre cualquier otra carga q que esté presente en el campo”.

La Fuerza ejercida por un campo eléctrico se denota de la siguiente manera:

⁹ SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol. 2*. (Décimo Segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19. Pág. 721-723.

$$\vec{F} = \frac{q_+q_-}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad \dots (01)$$

Donde:

\vec{F} : Fuerza eléctrica ejercida entre dos cargas opuestas.

q_+ : Carga eléctrica positiva (C).

q_- : Carga eléctrica negativa (C).

ϵ_0 : Permisibilidad en el espacio libre (numérica).

A continuación, se presenta una ilustración donde se puede apreciar la interacción de las cargas eléctricas positiva y negativa, con sus respectivas líneas de carga que expresan el sentido del movimiento de las cargas eléctricas y el fenómeno de atracción entre las mismas.

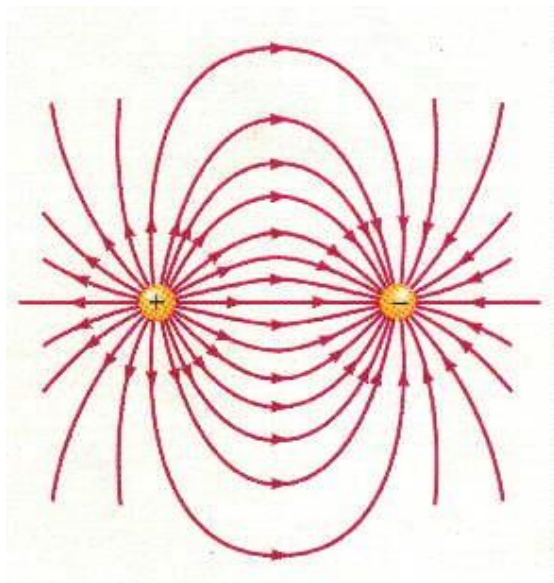


Figura 2.1. Campo Eléctrico ejercido entre dos cargas opuestas.

Fuente: <http://www-fen.upc.es/wfib/virtualab/marco/dipol.jpg>

▪ Intensidad de Campo Eléctrico

La intensidad de Campo Eléctrico es una cantidad de campo vectorial que representa la fuerza producida por una carga de prueba positiva infinitesimal (q) en un punto, dividida entre el valor de dicha carga eléctrica, cuyas unidades de medida son el voltio sobre metro (V/m)¹⁰. Se expresa de la siguiente manera:

¹⁰ SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol. 2*. (Décimo Segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19. Pág. 724.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \dots (02)$$

Donde

\vec{E} : Vector Campo Eléctrico (V/m).

ϵ_0 : Permitividad en el espacio libre (numérica).

q : Carga de prueba (Coulomb).

r : Distancia entre cargas (m).

Dicho en otras palabras, la intensidad de campo eléctrico define la cantidad de espacio que puede tener una carga, llamada carga fuente, que al aparecer por dicha región una carga de prueba, está siente un fuerza que puede ser de atracción o repulsión.

2.1.2. Campo Magnético

Al igual que el campo eléctrico, el campo magnético es un fenómeno que ocurre por la interacción de dos cargas, denominadas polos, que se pueden atraer o repeler entre sí, apreciándose fuerzas magnéticas. A diferencia del campo eléctrico, un campo magnético ejerce fuerza sobre partículas cargadas sólo si están en movimiento, y las partículas cargadas producen campos magnéticos sólo cuando están en movimiento¹¹.

La fórmula que rige el estudio del campo eléctrico está denotada por la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = qv \times B \quad \dots (03)$$

Donde:

\vec{F} : Fuerza magnética.

q : Carga magnética (T).

v : Velocidad (m/s).

B : Campo Magnético (A/m).

¹¹ SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol. 2*. (Décimo Segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19. Pág. 916-918.

Para la comprensión del término campo magnético, se presenta la siguiente figura:

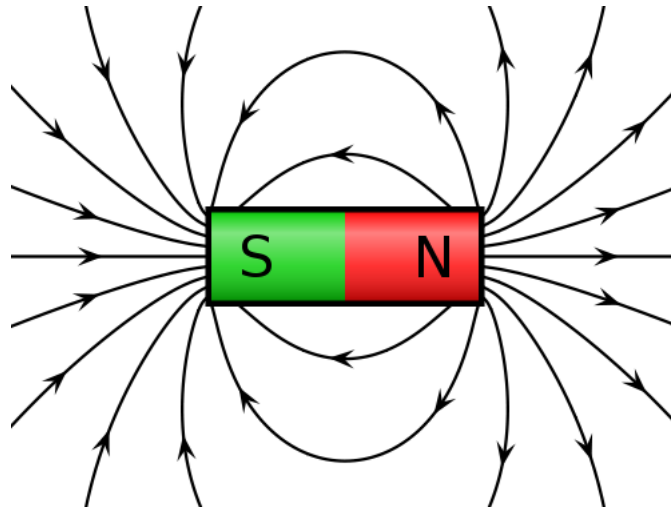


Figura 2.2. Campo Magnético ejercido entre dos cargas opuestas.

Fuente: <http://eltamiz.com/images/2011/September/iman.png>

▪ Intensidad de Campo Magnético

La intensidad de campo magnético se puede representar como un campo vectorial igual a la densidad de flujo electromagnético dividida entre la permeabilidad del medio. Se expresa en unidades de amperios sobre metro (A/m).

$$\vec{H} = \frac{B}{\epsilon} \hat{r} \quad \dots (04)$$

Donde

\vec{H} : Intensidad de Flujo Magnético (A/m).

B : Densidad de Flujo Magnético (tesla).

ϵ : Permeabilidad en el medio (numérica).

2.1.3. Onda Electromagnética

Para J. Seybold, en su libro titulado “*Introduction to RF Propagation*” (2005, pág. 20-23), se define como onda electromagnética a la interacción de ondas eléctricas con ondas magnéticas sobre un determinado espacio de propagación, donde un campo eléctrico variable con el tiempo genera a su vez un campo magnético y un

campo magnético variable con el tiempo genera un campo eléctrico, mostrado en la siguiente imagen:

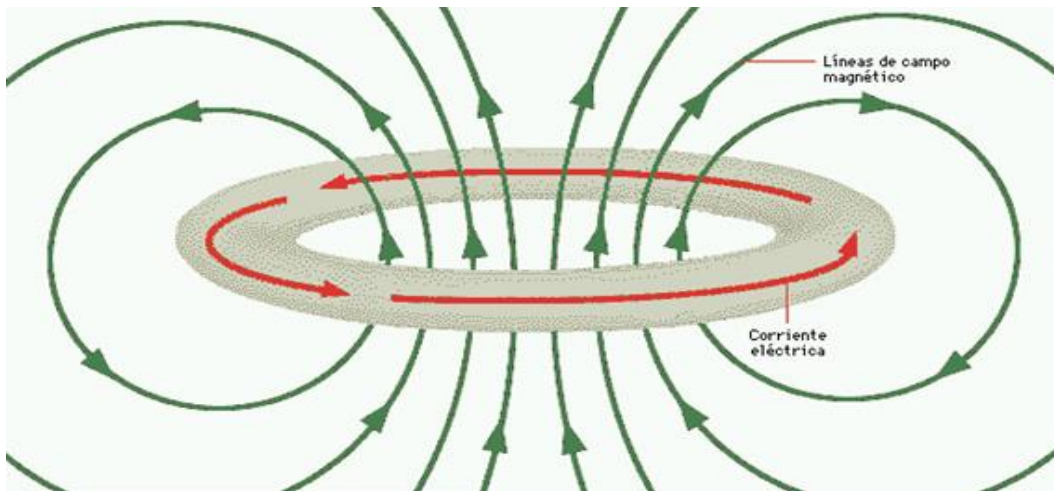


Figura 2.3. Líneas de campo eléctrico y magnético.

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/000136912.png>

El mayor aporte que se pudo dar en el análisis de las ondas electromagnéticas la dio el físico James C. Maxwell, quien estudió las ondas electromagnéticas generadas por la luz. Por lo que, la velocidad de una onda electromagnética se encuentra determinada como función de la Permeabilidad (μ) y la Permitividad (ϵ) del medio.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad \dots (05)$$

Donde

v : Velocidad de propagación (m/s).

μ : Permeabilidad en el medio (numérica).

ϵ : Permitividad en el medio (numérica).

Podemos obtener las ecuaciones de la Permeabilidad y Permitividad con las siguientes fórmulas:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad \dots (06)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad \dots (07)$$

Donde

- μ_0 : Permeabilidad en el vacío (numérica).
- μ_r : Permeabilidad Relativa (adimensional).
- ϵ_0 : Permitividad en el vacío (numérica).
- ϵ_r : Permitividad Relativa (adimensional).

Por lo tanto, la ecuación (03) quedaría establecida de la siguiente manera:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} c \quad \dots (08)$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s.} \quad \dots (09)$$

Donde

- c : Velocidad de la luz (m/s).

Para conocer los fenómenos de las ondas electromagnéticas en el espacio, la teoría de campos electromagnéticos se fundamentó en cuatro ecuaciones, las famosas ecuaciones de Maxwell¹²:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad \text{Ley de Gauss} \quad \dots (10)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{Ley de Gauss del Magnetismo} \quad \dots (11)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right) \quad \text{Ley de Ampere} \quad \dots (12)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{Ley de Faraday} \quad \dots (13)$$

Donde:

\vec{E} : Vector Campo Eléctrico (V/m).

\vec{A} : Vector Área (m²).

\vec{B} : Vector Campo Magnético (A/m).

\vec{l} : Vector Longitud (m).

Q_{enc} : Carga de Prueba (Coulomb).

ϵ_0 : Permitividad en el Espacio Libre (numérica).

μ_0 : Permeabilidad en el Espacio Libre (numérica).

¹² SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol. 2*. (Décimo Segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19. Pág. 1093-1094.

- Φ_E : Flujo de campo Eléctrico.
- ϕ_B : Flujo de campo Magnético.
- i_c : Corriente de Carga (A).

2.1.4. Campo Electromagnético

Se denomina “Campo Electromagnético” al conjunto de ondas electromagnéticas que interactúan entre sí, generando oscilaciones en el medio de propagación, que pueden ser tanto de origen natural como artificial.

Según D.S. 038-2003-MTC (2003, pág. 247645), el movimiento de cargas eléctricas en un conductor (como la antena de una emisora de radio o TV) origina ondas de campo eléctrico y magnético (denominadas ondas electromagnéticas) que se propagan a través del espacio vacío a la velocidad de la luz ($c = 300\,000$ Km/s)¹³.

Cuando en una región del espacio existe una energía electromagnética, se dice que en esa región hay un campo electromagnético, que se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico (\vec{E}) y/o la inducción magnética o densidad de flujo magnético (\vec{B}) en esa posición.

Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad “voltio/metro”, mientras que para medir la densidad de flujo magnético se utiliza la unidad “tesla” (T) y a veces el Gauss (G). Un tesla equivale a 1000 Gauss.

▪ Espectro Electromagnético

Según el libro “*Redes de Computadoras*” de A. Tanenbaum (1997, pág. 94-95), las ondas electromagnéticas cubren un espectro extremadamente amplio de longitudes de onda y frecuencia. A ese espectro se denomina “Espectro Electromagnético”, cuyas características dependen exclusivamente de la relación entre la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f), de la siguiente manera:

¹³ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003). *Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 247645.

$$c = \lambda f \quad \dots (14)$$

Donde

c : Velocidad de la luz (2.998×10^8 m/s).

λ : Longitud de onda (m).

f : Frecuencia (Hz).

Dentro del espectro electromagnético se encuentran las siguientes frecuencias, de las cuales se derivan en Radiaciones Ionizantes (RI) y Radiaciones No Ionizantes (RNI).

Tabla 2.1. Frecuencias del Espectro Electromagnético.

BANDA	SIGLAS	RANGO DE FRECUENCIAS	
Extremely Low Frequency	ELF	< 3	KHz
Very Low Frequency	VLF	3 - 30	KHz
Low Frequency	LF	30 - 300	KHz
Medium Frequency	MF	300 - 3000	KHz
High Frequency	HF	3 - 30	MHz
Very High Frequency	VHF	30 - 300	MHz
Ultra-High Frequency	UHF	300 - 3000	MHz
Super-High Frequency	SHF	3 - 30	GHz
Extra-High Frequency	EHF	30 - 300	GHz
Luz Infrarroja		300-3000	GHz
		3-30	THz
		30-300	THz
Luz Visible		300-3000	THz
Luz Ultravioleta		3-30	PHz
Rayos X		30-300	PHz
Rayos Gamma		300-3000	PHz
Rayos C3smicos		3-30	EHz

Fuente: *Sistemas de Comunicaciones Electr3nicas*, Wayne Tomasi (2003, p3g. 6)

Leyenda

KHz : Kilo Hertz.

MHz : Mega Hertz.

GHz : Giga Hertz.

THz : Tera Hertz.

PHz : Penta Hertz.

EHz : Exa Hertz.

2.2. FUNDAMENTOS DE RADIACIONES

Dentro del espectro electromagnético se encuentran dos tipos de radiaciones: radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes. A continuación se presenta una figura donde se encuentra todo el espectro electromagnético¹⁴.



Figura 2.4. Espectro electromagnético y algunas aplicaciones.

Fuente: http://www.orgonitas.com/images/Orgonitas_espectro_electromagnetico.jpg

2.2.1. Radiaciones Ionizantes

El Autor M. Noriega, en su tesis titulada “Análisis e Interpretación de las Mediciones de las Radiaciones No Ionizantes en las Radio Bases de Telefonía Móvil en la Ciudad de Riobamba” (2009, pág. 34-35), define a la Radiación Ionizante como aquella emisión electromagnética que cambia la estructura molecular de la materia. Para el caso de los seres vivos, este tipo de radiación es nociva para la salud debido a las altas frecuencias que dañan los tejidos y altera el ADN.

Las frecuencias que abarcan las Radiaciones Ionizantes son desde 10^{15} - 10^{22} Hz. Dentro de este tipo de radiación se encuentran los rayos gamma (γ), los rayos x y

¹⁴ SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol. 2*. (Décimo Segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19. Pág. 1093-1094.

los rayos ultravioleta. Sin embargo, algunos de los efectos de estas radiaciones no siempre son nocivos para la salud, ya que se utilizan con fines médicos.

2.2.2. Radiaciones No Ionizantes

Se denomina Radiación No Ionizante a aquellas ondas electromagnéticas que no producen alteración genética en la materia. Además, este tipo de radiación tiene menor frecuencia que las Radiaciones Ionizantes. Cuando atraviesa los tejidos vivos, no tiene la suficiente energía para dañar el ADN en forma directa¹⁵. Existen cuatro clases:

- **Radiaciones Ópticas (10 nm - 1 mm)**

Están conformados por radiación ultravioleta, luz visible y rayos infrarrojos. Estas radiaciones producen solamente calor y efectos fotoquímicos.

- **Microondas (300 MHz - 30 GHz)**

Estas radiaciones producen elevación de temperatura interna de los tejidos vivos. Entre sus más conocidas aplicaciones se encuentran los sistemas de comunicación terrestre y satelital, radar, radioastronomía, termografía y telefonía celular.

- **Radiofrecuencia (3 KHz - 300 KHz)**

Los efectos de este tipo de radiaciones se deben a tres factores: resonancia, calentamiento y quemaduras o descargas eléctricas.

- **Campos Casi-estáticos (menores a 3 KHz)**

Se puede estudiar el campo eléctrico independiente del campo magnético y viceversa.

¹⁵ AVENDAÑO, J.; GONZAGA, K.; RUIZ, J. (2013). *Análisis Técnico de las Radiaciones Electromagnéticas emitidas por las Antenas de las Radiobases Celulares en la Ciudad de Guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Guayaquil - Ecuador. Pág. 40-42.

2.3. REGIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

2.3.1. Región de Campo Cercano

Según el autor W. Tomasi, en su libro “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” (2003, pág. 375), cita: “El término campo cercano se refiere a la gráfica de radiación cerca de una antena”. Además, este tipo de campo se le conoce como “Campo de Inducción”, debido a la manera en que la antena irradia y almacena energía. Dentro de esta región, se encuentran dos tipos de campo cercano: campo cercano radiante y campo cercano reactivo.

▪ Región de Campo Cercano Radiante

Región donde el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero adolece de carácter de onda plana y es de estructura complicada.

▪ Región de Campo Cercano Reactivo

Región que está más cerca de una antena u otra estructura de radiación y contienen la mayoría o casi toda la energía almacenada.

2.3.2. Región de Campo Lejano

Conocido también como “Región de Fraunhofer”, estos campos son aproximadamente ondas esféricas que pueden ser aproximados en una región limitada de espacio por ondas planas. Asimismo, es la región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia de la antena. En esta región el campo tiene un carácter predominante de onda plana¹⁶.

$$S = E \times H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2 \quad \dots (15)$$

¹⁶ Unión Internacional de Telecomunicaciones (2000). *Orientación sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos*. Recomendación UIT-T K.52. Pág. 11.

2.4. FUNDAMENTOS DE ANTENAS

2.4.1. Antena

Una antena, conocida también como “radio antena”, es aquel instrumento o aquella estructura que permite hacer una transición entre las regiones del medio guiado con el espacio libre entre las ondas electromagnéticas o viceversa¹⁷.

Según el Libro “*Introduction to RF Propagation*” de J. Seybold (2005, pág. 38) considera a la antena como un radiador y receptos de energía electromagnética. A su vez, es un transductor entre el espacio libre y el medio guiado.

Entonces, se puede definir a la antena como un dispositivo intermediador capaz de pasar las ondas electromagnéticas de un medio alámbrico (cable coaxial, par trenzado, guía de onda) al espacio libre; dependiendo del uso y aplicación que se le de a las ondas electromagnéticas se podrá establecer comunicación de las siguientes manera: punto a punto, punto multipunto, etc.

El autor W. Tomasi, en su libro titulado “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” (2003, pág. 371-372), da referencia a una antena como “un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas”.

2.4.2. Simbología

En la actualidad existen varios tipos de antenas, las cuales se utilizan para diferentes aplicaciones. La finalidad de establecer una simbología convencional en el estudio de antenas se debe a la simplicidad que éstas ofrecen para el estudio de la transmisión de ondas electromagnéticas, como se muestra en la siguiente figura:

¹⁷ KRAUS (1997). *Antennas* (Second Edition). New York: McGraw-Hill Inc. Pág. 17.

Antenas

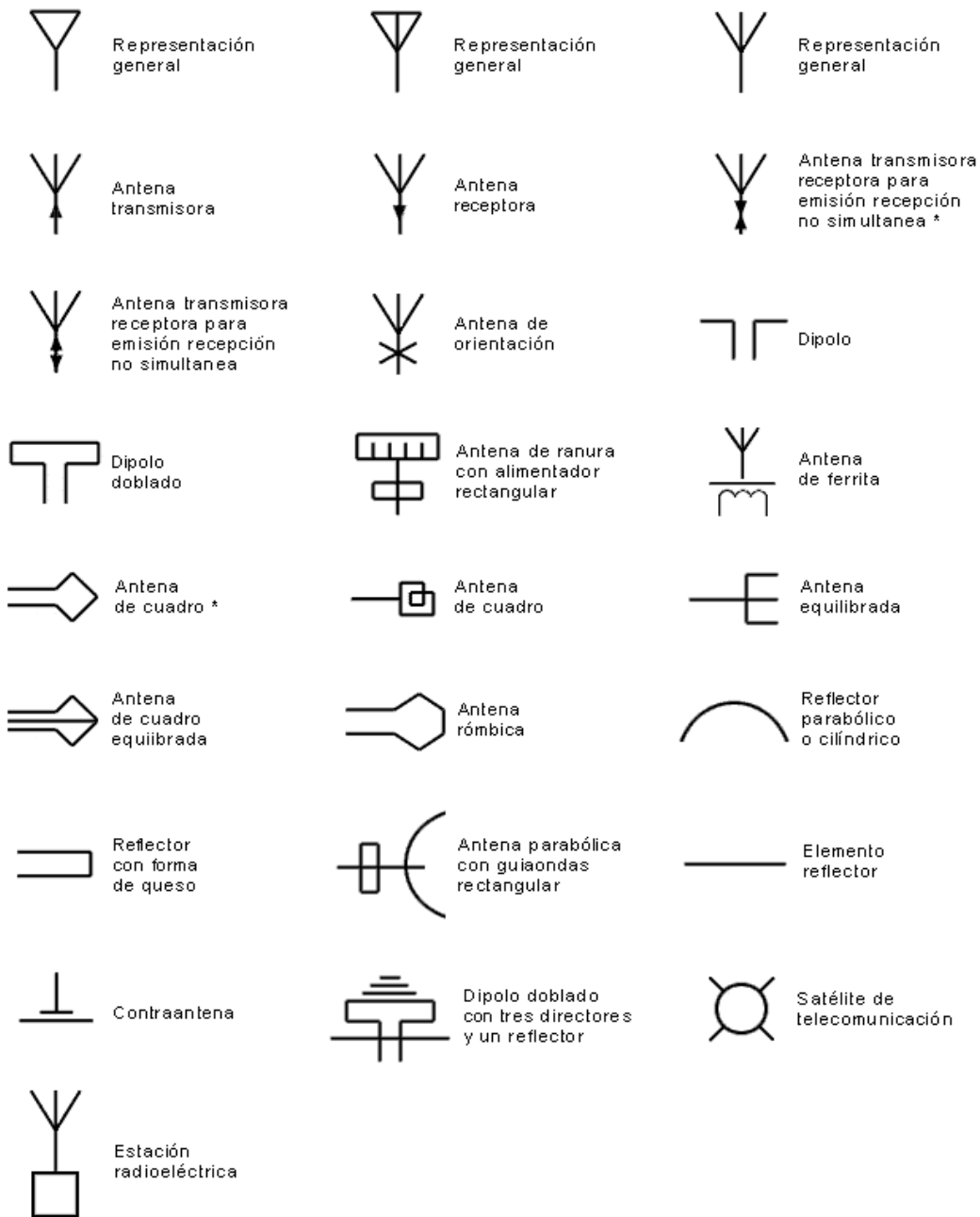


Figura 2.5. Simbología de algunos tipos de antenas.

Fuente: <http://www.frino.com.ar/simbolos/ANTENAS.gif>

La utilidad que se le da a la antena es la emisión y recepción de ondas electromagnéticas. La energía que generan estas ondas se dividen en energía radiada y energía reflejada. Como este dispositivo es pasivo, es decir, se necesita de energía para emitir y/o recibir ondas electromagnéticas, la antena dependiendo de la potencia de transmisión, posee una ganancia específica (g_t).

2.4.3. Principio de Reciprocidad

Para el estudio de antenas, es necesario conocer uno de los principios más fundamentales de las mismas. El Principio de Reciprocidad, es aquel que se basa en que la transmisión y recepción de las ondas electromagnéticas de las características y parámetros de la antena (ganancia de antena, ancho de banda, polarización de antena) deben tener la misma magnitud. Por lo que, la antena debe cumplir con los mismo parámetros de transmisión y recepción.

2.4.4. Directividad y Ganancia de Antena

a. Directividad de Antena

La Directividad de la antena se encuentra definida como la relación existente entre la intensidad de radiación máxima real de una antena con la intensidad de radiación máxima isotrópica de una antena¹⁸. La siguiente fórmula expresa la directividad de la antena.

$$D = \frac{U_{M\acute{a}x(real)}}{U_{M\acute{a}x(iso)}} \quad \dots (16)$$

Para expresar la ecuación () con unidades de medidas, se utiliza los dBi, por lo que se convierte a unidades logarítmicas.

$$D = 10 \log \left(\frac{U_{M\acute{a}x(real)}}{U_{M\acute{a}x(iso)}} \right) \quad \dots (17)$$

Donde:

D : Directividad de antena (dBi)

$U_{M\acute{a}x(real)}$: Intensidad de radiación máxima real de antena.

$U_{M\acute{a}x(iso)}$: Intensidad de radiación isotrópica de antena.

b. Ganancia de Antena

¹⁸ SEYBOLD, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. United States of America: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-65596-1. Pág. 39.

La ganancia de la antena se puede definir como la potencia de salida de la antena hacia una determinada dirección que se compara con la dirección que produce un radiador isotrópico. Por lo que la ganancia de la antena estaría expresada por medio de la siguiente ecuación:

$$G = \eta \frac{U_{M\acute{a}x}(real)}{\left(\frac{P_T}{4\pi d^2}\right)} \quad \dots (18)$$

Donde:

- G : Ganancia de la antena (dBi).
- η : Eficiencia de la antena (numérica).
- P_T : Potencia de salida de la antena.

2.4.5. Área Efectiva de Antena

Cuando la antena irradia energía para la transmisión de ondas electromagnéticas, idealmente transmite por toda el área. Sin embargo, en una antena real existe solo una región de toda el área de dicha antena que irradia energía electromagnética efectivamente. A dicha área se le conoce como “área efectiva” o “apertura de la antena”¹⁹. La ecuación que rige este concepto está dada de la siguiente manera:

$$A_e = \eta A_p \quad \dots (19)$$

Donde:

- A_e : Área efectiva de la antena (m²).
- η : Eficiencia de la antena (numérica).
- A_p : Área física de la antena (m²).

Normalmente la eficiencia de la antena (η) se encuentra entre un 50 - 80 %; esto depende de las características de las antenas, los cuales se podrán encontrar en las hojas técnicas de las mismas. Además, existe relación entre el área efectiva de la antena con la ganancia de la misma, la cual se expresa con la siguiente ecuación:

¹⁹ SEYBOLD, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. United States of America: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-65596-1. Págs. 39-40.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad \dots (20)$$

Donde:

λ : Longitud de onda de la antena (m).

2.4.6. Polarización de Antenas

La polarización de una antena se define como la orientación en el plano que contiene al campo eléctrico y al campo magnético de la forma de radiación de ondas electromagnéticas. Existen tres tipos de polarización de antenas:

a. Polarización Lineal

Mantiene un modelo lineal en la transmisión de ondas electromagnéticas. Los polos que éste tipo de polarización tiene generan un ángulo de 0° grados entre sí. En este tipo de polarización se encuentran: polarización vertical y polarización horizontal.

b. Polarización Circular

El dipolo de la antena se encuentra de manera perpendicular, haciendo que las ondas eléctricas y magnéticas generen la polarización circular.

c. Polarización Elíptica

Este tipo de polarización se deriva de la polarización circular con la diferencia en que el arreglo de dipolos no se encuentra de manera perpendicular exacta, es decir se encuentran casi a 90° entre los dipolos, generando así la polarización esférica de ondas electromagnéticas.

A continuación se muestra los tres tipos de polarización de antenas para su mayor entendimiento:

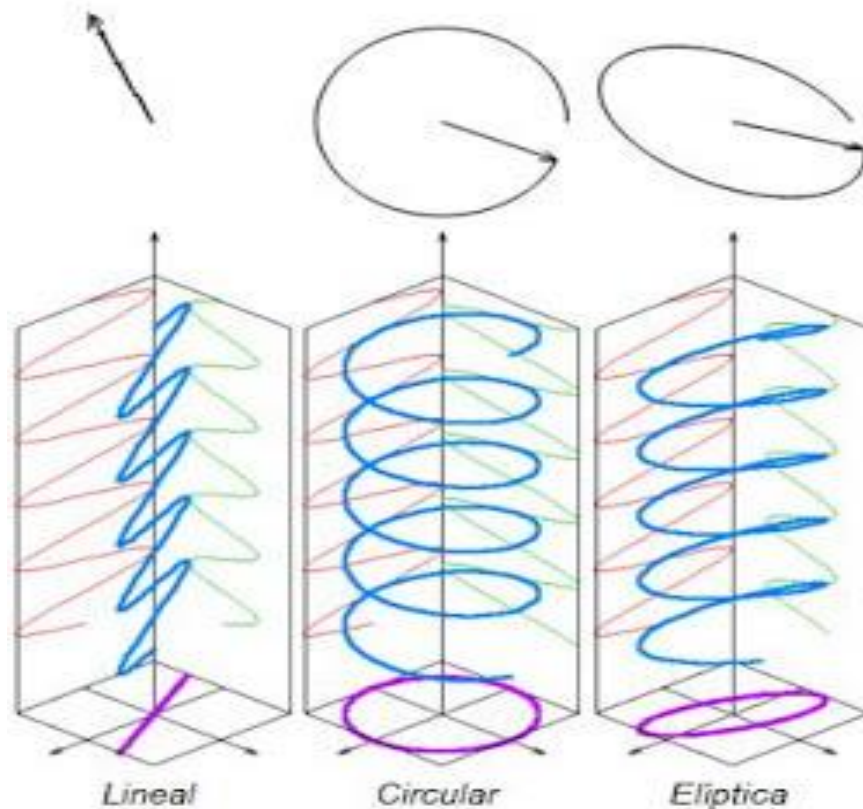


Figura 2.6. Tipos de Polarización de Antenas.

Fuente: http://4.bp.blogspot.com/_LlaYO1xONnc/SDIfxmdAhI/AAAAAAAAAFU/LIdRVp8qT18/s320/polarizacion_grafico.jpg

2.4.7. Patrón de Radiación de Antenas

El patrón de radiación de una antena se define como la relación existente entre la ganancia de la misma con el ángulo. Para J. Seybold, en su libro *“Introduction to RF Propagation”* (2005, pág. 42-43), define al patrón de radiación de una antena como la máxima radiación posible de cualquier tipo de antena existente bajo las condiciones de sus ángulos de acimut (Nivel de referencia al Norte) y de elevación (tilt).

Dentro de los tipos de radiaciones de antenas, se encuentra: el patrón de radiación absoluta, donde su distancia es variable y posee potencia fija; y el patrón de radiación relativa, donde posee potencia variable y distancia fija²⁰. Dentro de este concepto se encuentran elementos importantes que se deben de definir: los conceptos de ángulo de elevación (tilt) y el ángulo de acimut.

²⁰ TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta Edición). México: Prentice Hall. ISBN: 970-26-0316-1. Pág. 373.

a. Azimut

El ángulo azimut, conocido también como azimut, es aquel ángulo que toma como punto de referencia el punto cardinal norte y empieza en sentido horario desde 0 a 360°. Para la medida de este ángulo se toma la medida del campo magnético del en dirección al punto norte.

b. Down-tilt

Es conocido como el ángulo de elevación. Se toma como punto de referencia la orientación vertical y se mide de arriba para abajo para el cálculo de ángulos de antenas.

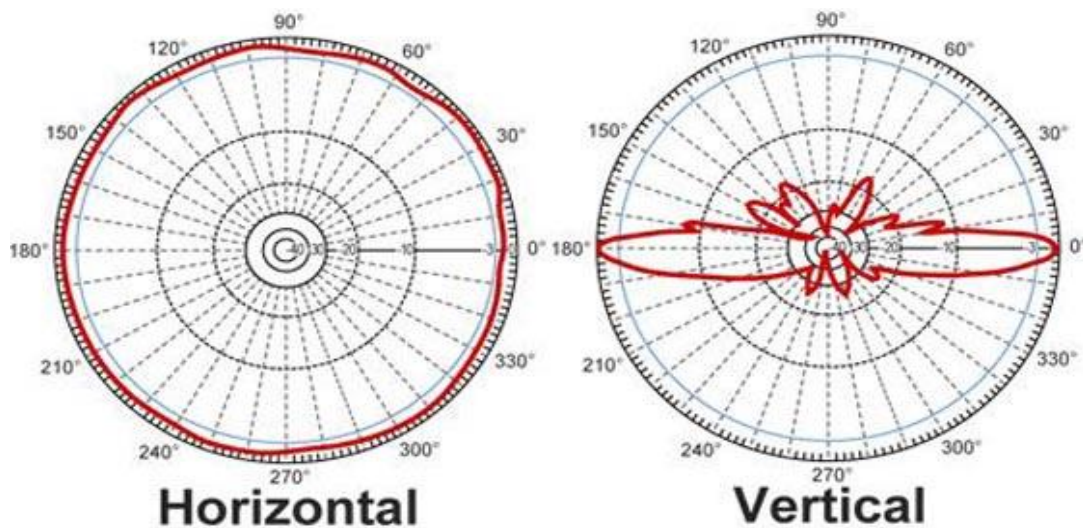


Figura 2.7. Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de Antena Omnidireccional.

Fuente: <http://www.diarioelectronicohov.com/imagenes/2011/06/Gr%C3%A1fica-4.jpg>

También, el patrón de radiación se puede presentar en una gráfica 3D, donde los ángulos de azimut y Down-tilt se presentan junto con la ganancia, como se muestra en la siguiente imagen:

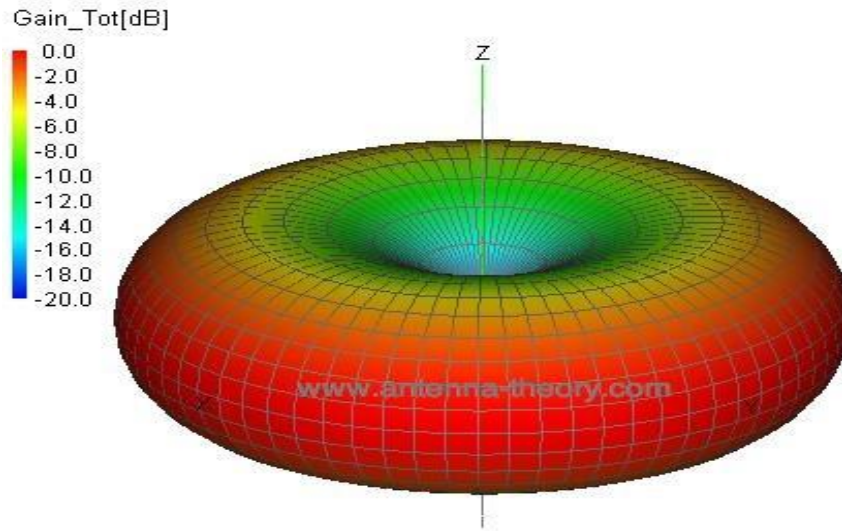


Figura 2.8. Patrón de Radiación de Antena Omnidireccional en 3D.

Fuente: <http://www.antenna-theory.com/antennas/norm3D1lam.jpg>

2.4.8. Regiones de Radiación de Antena

Existen tres regiones de radiación de antena: Región de Campo Cercano Reactivo, Región de Campo Cercano Radiante y Región de Campo Lejano. La siguiente figura denota a las tres regiones:

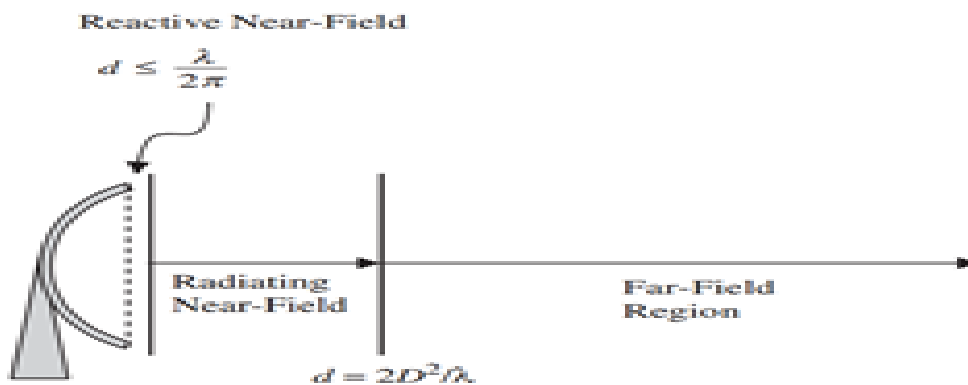


Figura 2.9. Regiones de Radiación de Antenas²¹.

Fuente: Libro "Introduction to RF Propagation".

Donde:

d : Distancia desde el punto de radiación hasta el punto de medición arbitrario (m).

D : Longitud de la antena (m).

²¹ SEYBOLD, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. United States of America: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-65596-1. Pág. 47.

a. Región de Campo Cercano Reactivo

En esta región es donde se irradia la energía de las ondas electromagnéticas del medio guiado hacia el espacio. Es por esto que esta región es considerada como región de inducción., debido a que se encuentra muy cerca de una antena u otra estructura de radiación y contienen la mayoría o casi toda la energía almacenada. Por lo que la siguiente ecuación define la distancia del campo cercano reactivo.

$$d \leq \frac{\lambda}{2\pi} \quad \dots (21)$$

b. Región de Campo Cercano Radiante

Conocida también como Zona de Fresnel²². En esta región el patrón de radiación de la antena empieza a tomar forma, pero no se encuentra totalmente definida. La forma de las ondas electromagnéticas llega a tener características sinusoidales, por lo que para el estudio de la presente tesis se hace el respectivo cálculo para la región de campo lejano debido a la estructura de las ondas electromagnéticas en dicha región.

$$\frac{\lambda}{2\pi} < d < \frac{2D^2}{\lambda} \quad \dots (22)$$

c. Región de Campo Lejano

La región de campo lejano es también conocida por el nombre de “Zona de Fraunhofer”. En esta región, las ondas electromagnéticas emitidas y/o recibidas por la antena tienen forma planas, donde el patrón de radiación de antenas cumple con los cálculos requeridos para un estudio de radiaciones y, por consiguiente, la ganancia de la antena es función del ángulo de radiación de la misma. Este tipo de región se denota con la siguiente ecuación:

$$d > \frac{2D^2}{\lambda} \quad \dots (23)$$

²² Fuente:

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040050/Descargas/capseis/radiacioncampo.pdf>

2.4.9. Ancho de Banda de Antenas

Todas las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de antena determinada no sobre pasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena. Entonces se define el ancho de banda como:

$$BW = \frac{f_{m\acute{a}x} - f_{m\acute{i}n}}{f_0} \quad \dots (24)$$

Donde:

BW : Ancho de Banda.

$f_{m\acute{a}x} - f_{m\acute{i}n}$: Margen de Frecuencias de la banda de operación (MHz).

f_0 : Frecuencia central (MHz).

2.4.10. Algunas Aplicaciones de Antenas

a. Dipolo de Media Onda ($\lambda/2$)

Este tipo de antena se caracteriza por tener dos segmentos, denominados dipolos. Cada dipolo tiene una distancia igual a un cuarto de longitud de onda. Este tipo de antena posee la característica de emitir energía electromagnética de forma casi omnidireccional. La ganancia teórica de este tipo de antena es 2.14 dB. En general, la ganancia de la antena puede ser medida tanto en decibelios de un radiador isotrópico (dBi) como de un dipolo de media onda ideal (dBd)²³.

El patrón de radiación horizontal y vertical que presenta la antena dipolo de media onda es como se muestra en la siguiente figura:

²³ SEYBOLD, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. United States of America: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-65596-1. Pág. 48.

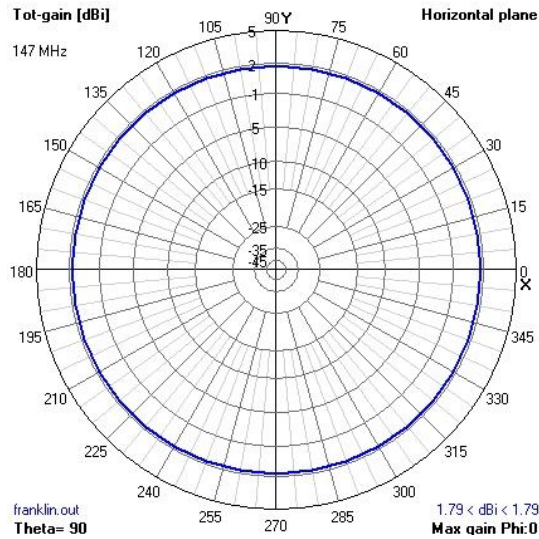


Figura 2.10. Patrón de Radiación Horizontal Dipolo $\lambda/2$.

Fuente: http://lh5.ggpht.com/4c8-upFITvc/SvNOBTb4yAI/AAAAAAAAAFL4/5i8v_r-pv_Q/Plano%20radiacion1.jpg

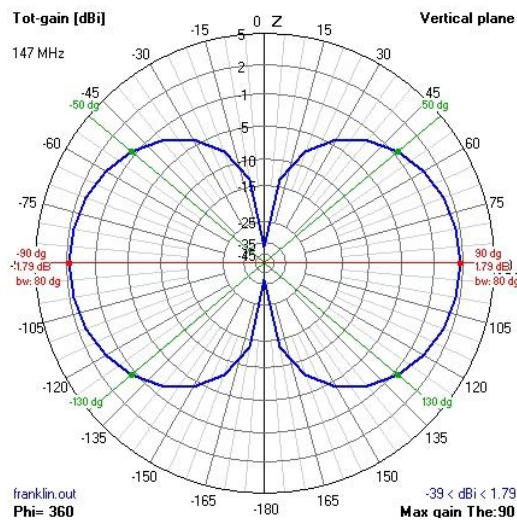


Figura 2.11. Patrón de Radiación Vertical de Antena Dipolo $\lambda/2$.

Fuente: <http://lh5.ggpht.com/4c8-upFITvc/SvNOBWjkKBI/AAAAAAAAAFL8/ryRRKOBHdaY/Plano%20radiacion2.jpg>

b. Antena Yagui

Es una derivación de la antena dipolo de media onda. La estructura de este tipo de antena consiste de tres elementos: el primero es un elemento reflector, que se encarga de reflejar la señal saliente del dipolo hacia un solo sentido; el segundo es un elemento conductor, donde el dipolo emite energía electromagnética y posee una distancia ligeramente menor que la del elemento director; y el tercer componente son elementos directores, quienes direccionan la señal hacia un determinado sentido. A continuación se muestra una figura de la antena Yagui.

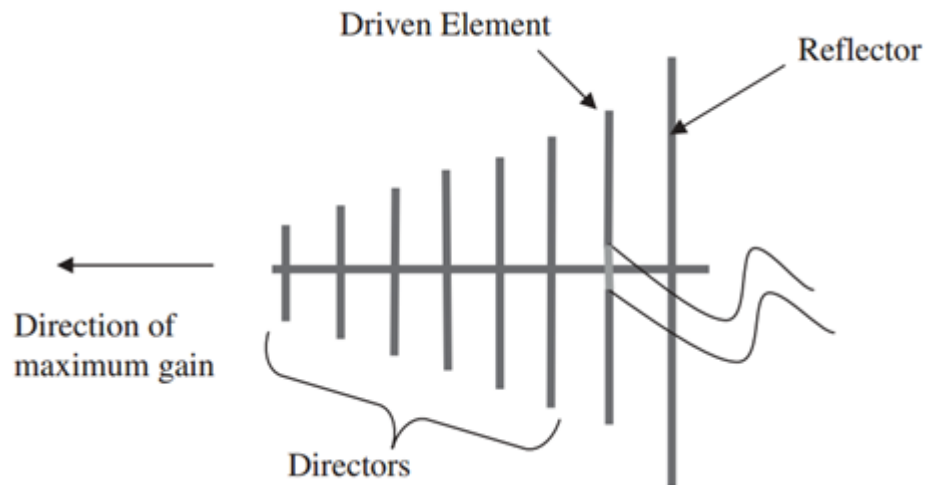


Figura 2.12. Estructura de la Antena Yagui.

Fuente: Libro "Introduction to RF Propagation".

Donde:

Reflector : Elemento reflector de antena Yagui.

Driven element: Elemento conductor de antena Yagui.

Directors : Elementos directores de antena Yagui.

c. Antenas Reflectoras

Este tipo de antenas son conocidas también como antenas parabólicas debido a que en su estructura poseen un elemento reflector que tiene la forma de un disco. La configuración de este tipo de antenas sirve para emitir y/o recibir las ondas electromagnéticas y centrar las mismas en un punto focal de la antena.

Dentro de este tipo de antena existen tres modos de emitir energía electromagnética dependiendo de la forma que está situada el foco transmisor/receptor:

➤ Antena Parabólica de Foco Centrado

Se caracteriza por tener el reflector parabólico centrado respecto al foco.

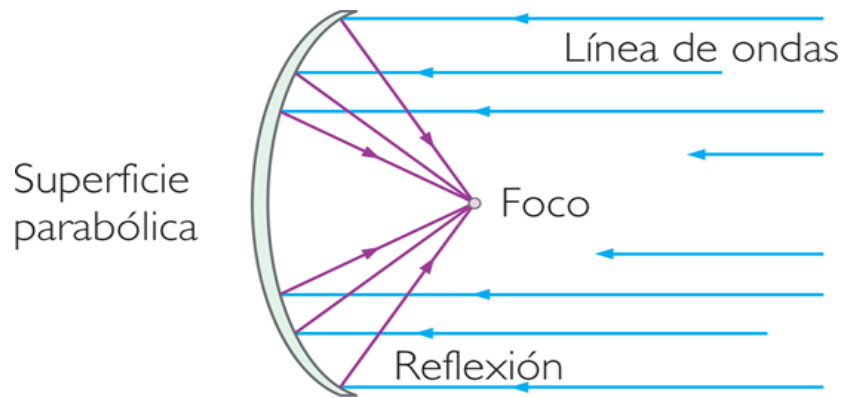


Figura 2.13. Antena Parabólica de Foco Centrado.

Fuente: <http://maam891.files.wordpress.com/2011/05/foco.png>

➤ **Antena Parabólica de Foco Desplazado**

Se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado respecto al foco. Son más eficientes que las antenas parabólicas de foco centrado, debido a que el foco alimentador no hace sombra sobre la superficie reflectora.

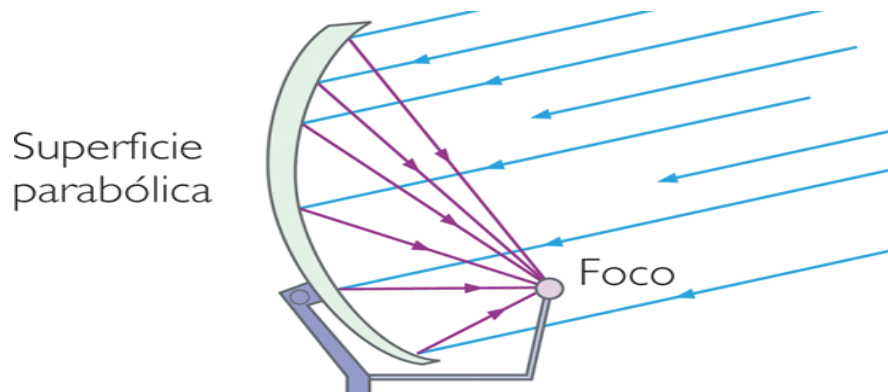


Figura 2.14. Antena Parabólica de Foco Desplazado.

Fuente: <http://anakarinaw.files.wordpress.com/2011/05/off1.png>

2.5. SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN MÓVILES

El autor W. Tomasi, en su libro titulado “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” (2003, pág. 865-868), define al servicio de radiocomunicaciones al sistema que emplea determinadas frecuencias de operación para la comunicación a distancia inalámbrica.

El autor J. Hernando, en su libro titulado “*Transmisión por Radio*” (2008, Pág. 841), cita que: “Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información entre terminales móviles y terminales fijos a través de un medio de transmisión radioeléctrico, con unas características de calidad determinadas”.

La aplicación de este tipo de servicio es el de aprovechar la característica inalámbrica que las radiocomunicaciones móviles poseen. Algunas ventajas respecto de las radiocomunicaciones inalámbricas son que los sistemas móviles abarcan con cobertura una determinada zona, lo cual hace que haya movilidad de usuarios mientras se encuentre dentro de dicha región donde abarca la señal.

Dentro de este tipo de servicio se encuentran tres medios por los cuales la radiotransmisión se emite y/o recibe:

- Servicio Móvil Terrestre.
- Servicio Móvil Marítimo.
- Servicio Móvil Aeronáutico.

Una estación radioeléctrica proporciona cobertura de manera omnidireccional a casi todos los dispositivos móviles que se encuentran dentro de la zona. El primer tipo de tecnología utilizado es el FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia) de banda estrecha, donde la compartición de señal la realiza un determinado número de usuarios con diferente frecuencia para cada uno de ellos.

Por consiguiente, la demanda de usuarios se ha incrementado con el pasar de los años y se crearon más técnicas basadas en la compartición de multifrecuencias.

2.5.1. Composición del Sistema de Radiocomunicaciones Móviles

El sistema de radiocomunicaciones móviles consta de tres elementos:

a. Estaciones Fijas

Es aquella estación que no está compuesta para su posible desplazamiento, es decir, una estación que se encuentra en una determinada zona. Dentro de este componente, existen tres tipos de estaciones fijas: Estación Base (BTS), la cual provee de señal radioeléctrica; y Estación Repetidora (RS), la cual actúa como repetidor de señal para evitar la atenuación de la misma.

b. Estaciones Móviles

Se denomina estación móvil a determinados dispositivos que poseen la capacidad de mantenerse conectados con las estaciones fijas por medios inalámbricos, dependiendo de la cobertura de las mismas y movilizándose dentro de ellas. A su vez, son equipos que cada usuario posee para mantenerse en comunicación por medio de una frecuencia específica.

c. Equipos de Control

Los equipos de control son aquellos dispositivos los cuales tienen la función de dar mantenimiento a las estaciones fijas, tanto para la generación y recepción de frecuencias, señalización de las mismas, etc.

2.5.2. Clasificación de los Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles se clasifican de la siguiente manera:

a. Por la Banda de Frecuencias Utilizada

La banda de frecuencias PMR utilizada abarca desde las frecuencias VHF hasta las frecuencias UHF. Ambas frecuencias se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 2.2. Bandas de frecuencia para sistemas PMR²⁴.

BANDA	Rango de Frecuencias (MHz)
VHF baja	60-80
VHF alta	150-174
III	223-230
UHF baja	440-470
UHF alta	860-890

Fuente: "Transmisión por Radio" (2008, Pág. 487).

Con ello se tienen algunas características de las bandas VHF baja, VHF alta y UHF baja para la administración de frecuencias para colocar una estación radioeléctrica en una determinada zona geográfica.

Tabla 2.3. Características de asignación de Bandas de Frecuencia.

Características de Frecuencias	BANDA		
	VHF baja	VHF alta	UHF baja
Utilización Típica	Rural	Rural/urbana	Urbana
Penetración	Mínima	Media	Alta
Pérd. Vegetación	Mínima	Media	Alta
Mutitrayecto	Escaso	Apreciable	Pronunciado
Interf. sobrealcance	Máxima	Media	Baja
Ruido ambiente	Alto	Medio	Bajo
Disp. Canales	Casi nula	Muy pequeña	Pequeña
Tamaño antenas	Grande	Medio	Pequeño
Ganancia antenas	Mínima	Media	Alta
Coste Equipos	Bajo	Medio	Medio/alto
Canalización (kHz)	25	12.5	12.5
Alcance típico (base-móvil) (h=30 m; P=20 W)	30 km	20 km	10 km

Fuente: "Transmisión por Radio" (2008, Pág. 487).

²⁴ PMR: Private Mobile Radio. Son redes para grupos cerrados de usuarios.

b. Por la Modalidad de Explotación

Se entiende por modalidad de explotación al tipo de distribución de canales radioeléctricos existentes. Entre ellos se encuentran: canales simplex, canales semi-dúplex y canales dúplex. Cada uno de este tipo de transmisión de canales se presenta en la siguiente figura:

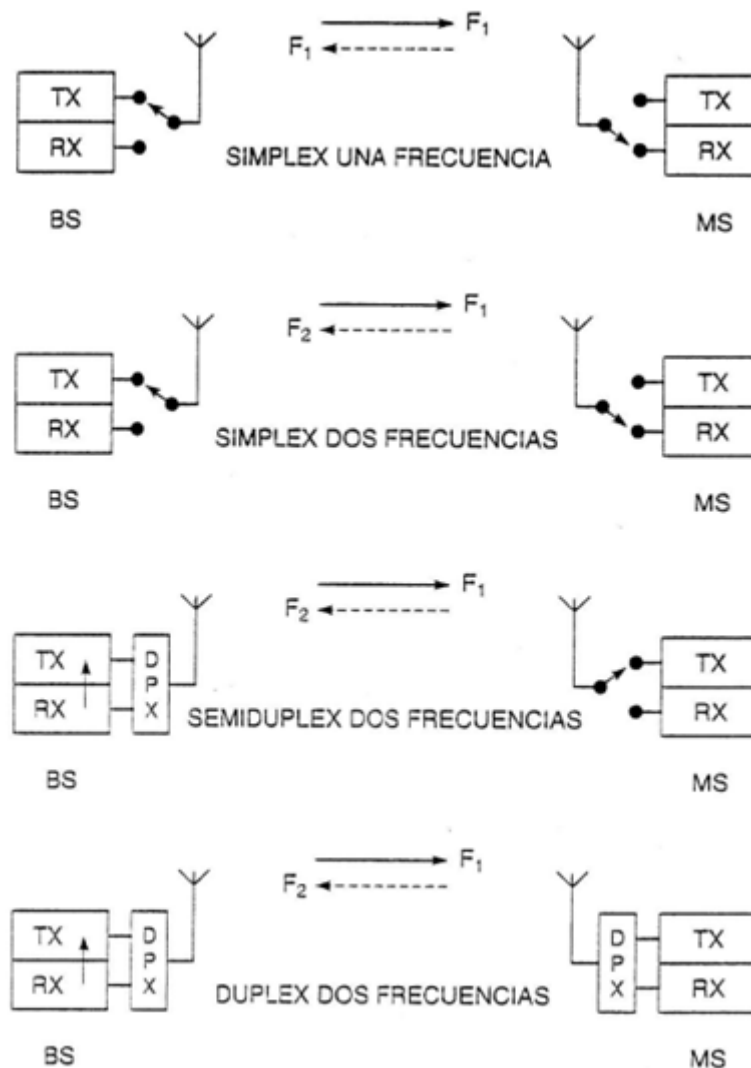


Figura 2.15. Tipo de Emisión de Frecuencias Radioeléctricas.

Fuente: "Transmisión por Radio" (2008, Pág. 489).

c. Por el Tipo de Sistema de Control

Existen dos tipos de control: control local y control remoto.

2.5.3. Clase de Canales de Comunicaciones Móviles

Se presentan tres tipos de canales en los sistemas móviles para el estudio de los mismos:

a. Canal Simplex

Este tipo de canal se caracteriza por tener la característica que la transmisión se presenta de forma secuencial, es decir que no existe una transmisión de respuesta hacia la Estación Base A desde la Estación Base B al mismo tiempo que la Estación A envía una señal. Existen dos tipos de canal simplex: a una sola frecuencia y a dos frecuencias²⁵.

Canal Simplex a una Frecuencia

“Los Canales simplex a una frecuencia utilizan la misma frecuencia F_1 para cada sentido de transmisión. La transmisión y la recepción se efectúan en forma secuencial, en un sentido cada vez” (2008, Pág 488-489).

La ventaja que este tipo de canal presenta es su sencillez, debido a que una sola frecuencia soporta ambos sentidos de la transmisión de señal, por lo que se usa bien el espectro.

La desventaja de este tipo de canal es que las transmisiones son del tipo “línea compartida”, el cual ocasiona que cualquier equipo que quiera captar esa señal lo haga y pueda establecer comunicación con los demás equipos que operan a esa misma frecuencia.

Canal Simplex a dos Frecuencias

Debido a que los canales simplex de una sola frecuencia para la transmisión y recepción de seña presenta problemas de bloqueo por utilizar solamente una

²⁵ HERNANDO, J. (2008). *Transmisión por Radio* (Sexta Edición). Madrid: Centro de Estudio Ramón Areces S.A. ISBN: 9788-4800-4856-9. Págs. 488-489.

misma frecuencia, se utilizan dos frecuencias: una frecuencia para transmisión de señal, y otra frecuencia para recepción de señal. Ambas frecuencias se encuentran separadas entre sí de 4 MHz a 5MHz.

La ventaja de este tipo de canal es que permite una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico, debido a que no se producen efectos perjudiciales entre las antenas de transmisión y recepción de la estación base.

La desventaja de este tipo de sistema de comunicación móvil es que no se permite la comunicación de móvil a móvil, solo se establece la comunicación con la estación base, por lo cual se produce una carga innecesaria en el canal radioeléctrico.

b. Canal Semi-dúplex

Según el libro “*Transmisión por Radio*” de J. Hernando (2008, Pág. 943), se refiere a los canales semi-dúplex como aquel en donde la estación base posee un duplexor y los dispositivos móviles un conmutador de antena. Por lo que la estación base funciona como transmisor y receptor al mismo tiempo y el móvil solamente funciona como uno de ellos solamente en un determinado tiempo.

Un ejemplo aplicativo de este tipo de sistema es la transmisión de radio de banda civil, donde el transmisor tiene que mantener presionado un botón para poder comunicarse con el receptor, y el receptor tiene que esperar a que el transmisor termine la comunicación para él poder responder.

c. Canal Dúplex

En este tipo de sistemas, el transmisor y receptor poseen ambos un duplexor cada uno para la transmisión simultánea de señal.

Para J. Hernando, cita que “Con estos sistemas se requiere un radiocanal (pareja de frecuencias) diferente para enlazar cada móvil con la estación base, la cual

debe ser multicanal, es decir, constar de tantos receptores como canales se hayan establecido”²⁶.

2.5.4. Sistemas de Radiotelefonía Pública Móvil

El Sistema de Radiotelefonía Pública Móvil se realizó con la finalidad de brindar a los usuarios un servicio público celular, para establecer una comunicación con otros usuarios que poseen dispositivos móviles a nivel nacional e internacional. Algunos de los objetivos trazados para este tipo de sistemas son:

- Cubrir gran capacidad de abonados (usuarios móviles).
- Tener una capacidad telefónica similar o superior a la del servicio telefónico convencional.
- Obtener una utilización eficaz del espectro de frecuencias.
- Tener la capacidad de expansión para posterior demanda de abonados.

2.5.5. Sistemas de Radiocomunicación Celular

El término “celular” hace referencia a la configuración de la cobertura que se tiene por cada estación base colocada en una determinada zona geográfica. Según el libro “*Transmisión por Radio*” (2008, Pág. 506), se cita lo siguiente: “En los sistemas de telefonía celular, la zona de cobertura deseada se divide en zonas más pequeñas llamadas células, a las que se asigna un cierto número de radiocanales, dotándolas de otras tantas estaciones de base transmisoras y receptoras”.

En este tipo de sistemas celulares, el mayor problema presentado es la interferencia cocanal, es decir la interferencia generada por la reutilización de frecuencias utilizadas en una misma estación base. Por lo que, la calidad del servicio depende necesariamente de la relación portadora/interferencia.

Por consiguiente, el estudio teórico de los sistemas celulares trata de resolver los siguientes problemas: forma geométrica de las celdas, estructura geométrica de la

²⁶ HERNANDO, J. (2008). *Transmisión por Radio* (Sexta Edición). Madrid: Centro de Estudio Ramón Areces S.A. ISBN: 9788-4800-4856-9.

agrupación y el análisis de interferencia y determinación de parámetros básicos de geometría celular en conexión con la asignación de canales.

La siguiente imagen muestra de manera sintética el sistema celular, junto con las celdas que tiene forma hexagonal para mayor entendimiento de los cálculos de diseño y distribución de frecuencias a manera de evitar la interferencia cocanal.

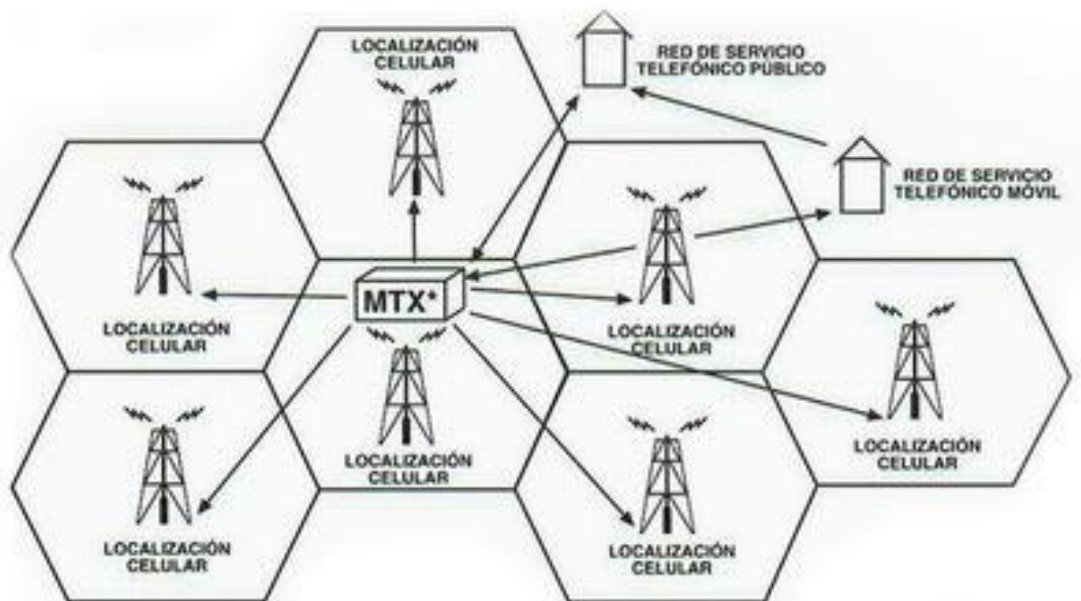


Figura 2.16. Sistemas Celulares GSM.

Fuente: <http://www.tecnocomunicaciones.com.ar/faq/Telefonia-Movil.JPG>

a. Sectorización

La sectorización se define como la organización de la célula original con patrón de radiación omnidireccional dividida en tres sectores, los cuales para evitar el desperdicio del espectro radioeléctrico, se emplean antenas direccionales en cada uno de dichos sectores.

En el Libro “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*”, del autor W. Tomasi (2003, Pág. 873), da a conocer que: “A un sistema telefónico celular se puede disminuir la interferencia por canal compartido si se reemplaza una sola antena omnidireccional con varias antenas direccionales, irradiando cada una hacia un área específica. A estas áreas se les conoce como sectores y a la disminución de

la interferencia por canal compartido aumentando al mismo tiempo su capacidad mediante antenas direccionales se llama Sectorización”.

Para la sectorización se usan tres antenas direccionales distribuidas cada una en un ángulo de 120°, o también se pueden usar seis antenas direccionales distribuidas en ángulos de 60°.

b. Asignación Dinámica de Frecuencias

La Asignación Dinámica de Frecuencias se basa en el control que se ejerce en la estación base, dentro del cual se registra qué frecuencias se están utilizando en ese momento y qué frecuencias se encuentran disponibles para ser utilizadas por otros usuarios.

Por el cual, la asignación dinámica debe de cumplir los siguientes aspectos²⁷:

- Cualquier canal puede ser utilizado por cualquier célula.
- Acceso/tratamiento de gran volumen de datos.
- Registro de estado de cada canal.
- Identificación del establecimiento/conclusión de llamadas.
- Localización/identificación de vehículos.
- Agilidad de los sintetizadores de frecuencias.

2.5.6. Estructura de Sistema de Radiocomunicación Celular

Dentro de la estructura del Sistema de Radiocomunicación Celular se encuentran los siguientes puntos:

a. Procesamiento en Transmisión

- Digitalización de voz de banda estrecha.
- Codificación de canal.

²⁷ HERNANDO, J. (2008). *Transmisión por Radio* (Sexta Edición). Madrid: Centro de Estudio Ramón Areces S.A. ISBN: 9788-4800-4856-9. Pág. 518.

- Formateización para multiacceso.
- Modulación Digital óptima, con mínimo ancho de banda.
- Transmisión.

b. Procesamiento en Recepción

- Recepción con amplificación de bajo ruido.
- Eliminación de diversidad.
- Demodulación.
- Decodificación con corrección de errores.
- Conversión digital analógica.

2.6. SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)

2.6.1. Definiciones Generales de Global System for Mobiles

Según el libro “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” (2003, Pág. 898), cita: “El GSM es un sistema telefónico celular de segunda generación, desarrollado al principio para resolver los problemas de fragmentación inherentes a los sistemas de generación en Europa... El GSM fue el primer sistema telefónico celular totalmente digital”.

Este nuevo tipo de servicio, netamente digital, se estableció para proporcionar servicio de telefonía móvil a una gran demanda de usuarios con cobertura internacional.

2.6.2. Requisitos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles

Algunos de los Servicios básicos que el Sistema Global para Comunicaciones Móviles que presenta el libro “*Transmisión por Radio*”²⁸ son:

- Posibilidad de localización y seguimiento automáticos, en ámbitos nacional e internacional.
- Número telefónico de abonado único.
- Gran capacidad de tráfico con utilización del espectro radioeléctrico optimizado.
- Mejor calidad del servicio y mayores facilidades que las proporcionadas por el sistema de telefonía móvil analógico.
- Posibilidad de coexistencia con los sistemas analógicos actuales en los mismo emplazamientos de estaciones base.
- Posibilidad de interconexión con la ISDN.
- Inclusión de servicios no telefónicos.
- Posibilidad de utilización de terminales de usuario de reducido tamaño, en especial aparatos portátiles de bolsillo.

²⁸ HERNANDO, J. (2008). *Transmisión por Radio* (Sexta Edición). Madrid: Centro de Estudio Ramón Areces S.A. ISBN: 9788-4800-4856-9. Pág. 543.

- Seguridad y confidencialidad en los accesos a la red y en la transmisión de la información.
- Mayor eficacia de las baterías de los portátiles.
- Utilización de sistemas de señalización avanzados.
- Coste para el usuario no mayor que en los sistemas analógicos.

2.6.3. Arquitectura del Sistema Global para Comunicaciones Móviles

a. Entidades Funcionales

Las entidades funcionales poseen elementos necesarios para la ejecución de funciones definidas por el sistema. Entre ellas se encuentran cuatro tipos de entidades: la Estación Móvil (MS), el Subsistema de Estación Base (BSS), el Subsistema de Red y Conmutación (NSS) y el Subsistema de Soporte Operacional (OSS)

- **Estación Móvil** : Es aquel dispositivo móvil que un usuario utiliza para la transmisión y recepción de señal con la finalidad de comunicarse con otros usuarios de la red GSM²⁹. Esta entidad está compuesta a su vez de dos elementos que interactúan entre sí: el módulo de Identidad del Suscriptor (SIM), que es una tarjeta inteligente removible que contiene toda la información necesaria acerca del dispositivo móvil; y el equipo móvil (ME), que es el dispositivo en sí sin la tarjeta SIM.

A su vez, el equipo móvil está compuesto por tres bloques funcionales: el equipamiento terminal (TE), que desarrolla funciones específicas de un servicio particular; la terminación del móvil (MT), que tiene como función la transmisión de la información a través de la interfaz GSM; y el adaptador terminal (TA), quien se encarga de asegurar la compatibilidad entre el equipamiento terminal (TE) y la terminación del móvil (MT).

²⁹ STEELE, R.; CHIN-CHUN, L.; GOULD, P. (2001). *GSM, CDMAOne and 3G Systems*. England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-470-84167-2. Pág. 69.

- **Subsistema de Estación Base** : Este tipo de subsistema es conocido también como “subsistema de radio”, el cual proporciona y administra grupos de transmisión en radiofrecuencia entre las unidades móviles (MS) y el centro móvil de conmutación (MSC). Los dispositivos que componen este subsistema son la Estación Base (BTS) y el Centro Móvil de Conmutación (MSC), donde se administran interfaces para la comunicación efectiva entre estos dos elementos en el sistema GSM.
- **Subsistema de Red y Conmutación** : Administra las funciones de conmutación del sistema y permite que se comuniquen los centros móviles de conmutación (MSC) con otras redes telefónicas.
- **Subsistema de Soporte Operacional** : Este tipo de subsistema soporta la operación y el mantenimiento del sistema y permite a los ingenieros vigilar, diagnosticar y localizar las fallas en cada aspecto de la red GSM. Aquí se encuentra el Centro de Operación y Mantenimiento (OMC) el cual se encarga de proporcionar los medios por los cuales el operador controla la red³⁰.

b. Interfaces

Se definen dos tipos de interfaces: interfaz de línea (medio guiado) e interfaz del aire, o interfaz radio.

- **Interfaz de Línea** : Existe un interfaz de línea “A” que conecta el Centro Móvil de Conmutación (MSC) con el Subsistema de la Estación Base (BSS). Existe una interfaz de línea opcional “Abis” que conecta el Controlador de la Estación Base (BSC) con la Estación Base (BTS).
- **Interfaz de Aire** : La interfaz radio “Um” delimita la frontera entre la Estación Base (BTS) con las estaciones móviles (MS).

En la Siguiete figura se puede observar todos los elementos que constituyen la arquitectura del Sistema GSM.

³⁰ STEELE, R.; CHIN-CHUN, L.; GOULD, P. (2001). *GSM, CDMAOne and 3G Systems*. England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-470-84167-2. Pág. 76.

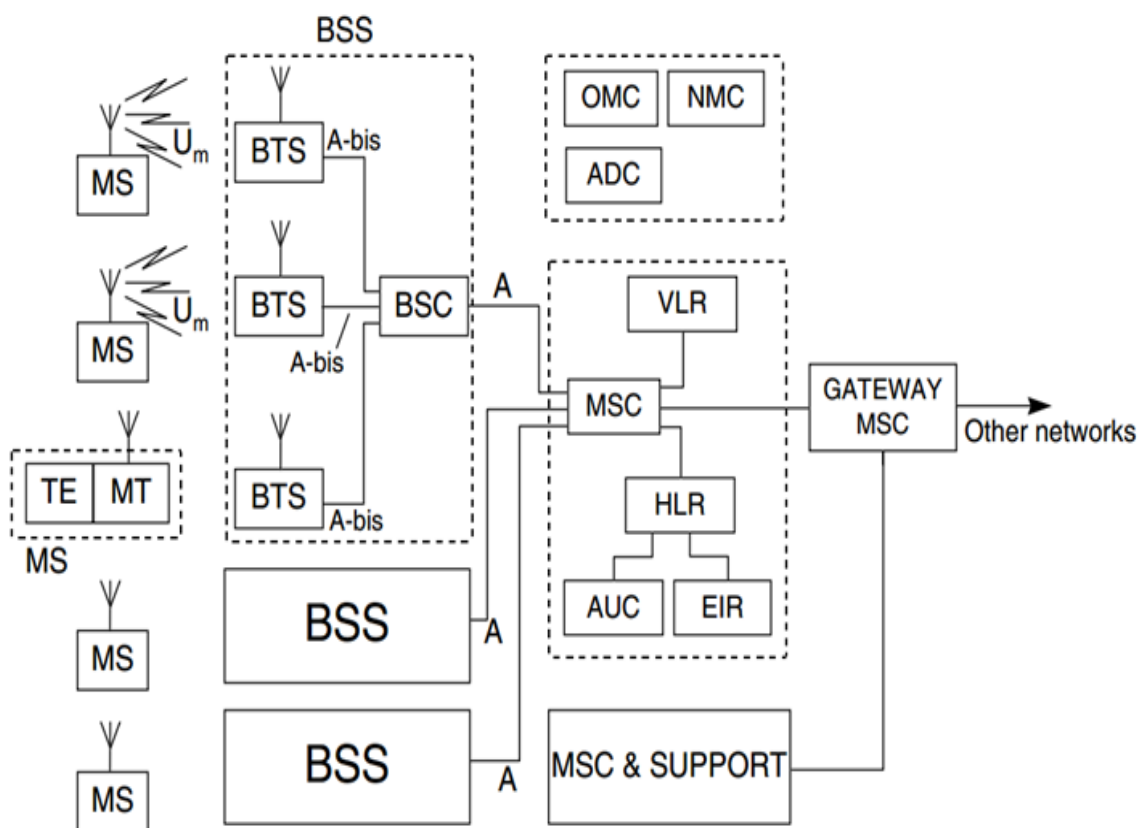


Figura 2.17. Arquitectura del Sistema GSM

Fuente: "Transmisión por Radio".

Donde:

- AUC : Centro de Autenticación.
- BCF : Funciones de Control de la Estación Base.
- BSC : Controlador de la Estación Base.
- BSS : Subsistema de la Estación Base.
- BTS : Estación Base.
- EIR : Registro de Identidad de Equipos.
- HLR : Registro de Abonados.
- MS : Estación Móvil.
- MSC : Centro de Conmutación de Servicios Móviles.
- NMC : Centro de Gestión de Red.
- OMC : Centro de Operación y Mantenimiento.
- RDSI : Red Digital de Servicios Integrados.
- RPMT : Red Pública Móvil Terrestre.
- RTPC : Red Telefónica Pública con Conmutación.

TRX : Transceptores.
VLR : Registro de Visitantes.

2.6.4. Características de Tecnología GSM

a. Tipo de Modulación

El tipo de Modulación para Tecnología GSM es el Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK), el cual se describe que la amplitud de la portadora se mantiene constante y lo único que varía es la fase de la misma portadora. Este tipo de modulación se deriva del MSK (Minimum Shift Keying), que presenta características de configuración similares, con la diferencia que la modulación GMSK posee un esquema más simple que la modulación MSK.

Según el libro “*GSM, CDMAOne and 3G Systems*”, existen dos valores de frecuencia distintos entre sí para aplicar el cambio de fase en la modulación GMSK. A estas frecuencias las denotaremos por medio de las siguientes ecuaciones:

$$f_1 = f_c + \frac{R_b}{4} \quad \dots (25)$$

$$f_2 = f_c - \frac{R_b}{4} \quad \dots (26)$$

Donde:

R_b : Tasa de modulación promedio (aprox. 271 kbps).

f_c : Frecuencia Nominal de Portadora.

b. Bandas de Frecuencia Utilizadas

Según el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) en su informe documentario TS 45.005 V10.0.0 (2011, Págs. 14-15), define la banda de frecuencias y arreglo de canales de la siguiente manera:

Tabla 2.4. Asignación de Banda de Frecuencias en GSM

SISTEMA	BANDA	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Número de Canal
T-GSM 380	380	380.2-389.8	390.2-399.8	Dinámico
T-GSM 410	410	410.2-419.8	420.2-429.8	Dinámico
GSM 450	450	450.4-457.6	460.4-467.6	259-293
GSM 480	480	478.8-486.0	488.8-496.0	306-340
GSM 710	710	698.0-716.0	728.0-746.0	Dinámico
GSM 750	750	747.0-763.0	777.0-793.0	438-511
T-GSM 810	810	806.0-821.0	851.0-866.0	Dinámico
GSM 850	850	824.0-849.0	869.0-894.0	128-251
P-GSM 900	900	890.0-915.0	935.0-960.0	1-124
E-GSM 900	900	880.0-915.0	925.0-960.0	975-1023, 0-124
R-GSM 900	900	876.0-915.0	921.0-960.0	955-1023, 0-124
DCS 1800	1800	1710.0-1785.0	1805.0-1880.0	512-885
PCS 1900	1800	1850.0-1910.0	1930.0-1990.0	512-810

Fuente: ETSI 3GPP TS 45.005 V10.0.0³¹.

Donde:

- T-GSM : Trunking GSM.
- P-GSM : GSM Estándar o Primario (Primary-GSM).
- E-GSM : GSM Extendido (Extended-GSM).
- R-GSM : Railways GSM (Standard + Extended).
- DCS : Sistemas de Control Distribuido.
- PCS : Sistemas de Comunicaciones Personales.

La Unión Internacional de telecomunicaciones estableció el lineamiento del estándar GSM para las telecomunicaciones móviles a nivel internacional, tal y como se muestra en la siguiente figura:

³¹ ETSI (2011). *Digital Cellular Telecommunications System*. ETSI TS 45.005 V10.0.0. Págs. 14-15. Recuperado el 19 de Setiembre del 2013 de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/145000_145099/145005/10.00.00_60/ts_145005v100000p.pdf

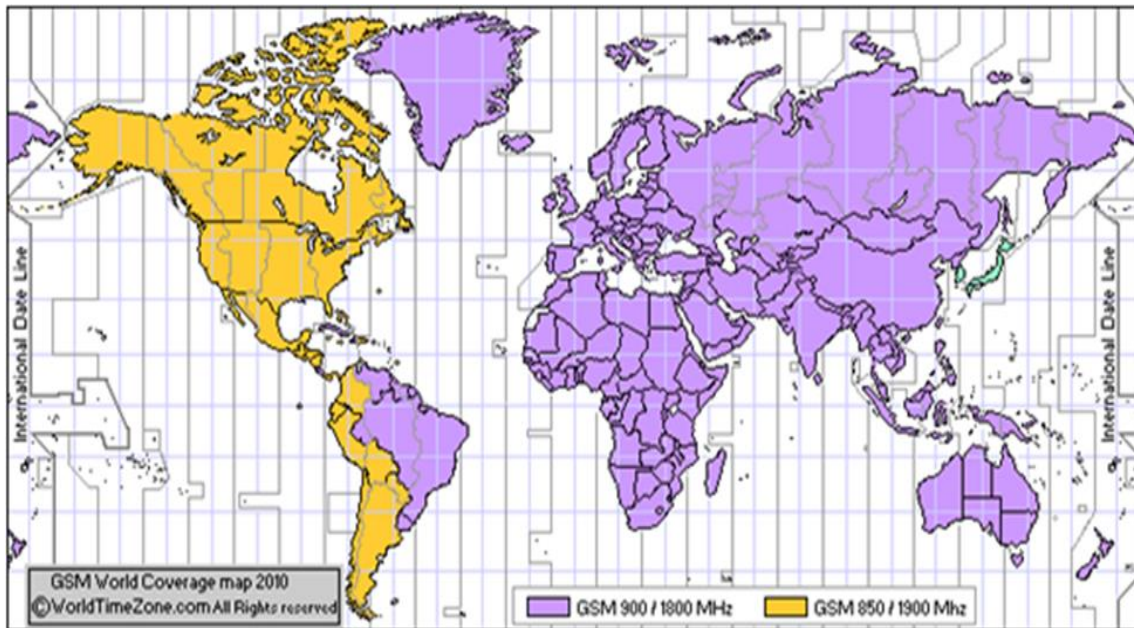


Figura 2.18. Mapa de Asignación de Frecuencias a Nivel Internacional.

Fuente: <http://eve-ingsistemas-u.blogspot.com/2012/04/el-sistema-global-para.html>

c. Especificaciones y Parámetros Técnicos

Tabla 2.5. Resumen de Especificaciones GSM.

Separación de Canales	200 KHz
Tipo de Modulación	GSMK = 270.83 Kbps
Pire máx. BTS	500 W (portadora)
Potencia Nominal BTS	2, 5, 8 y 20 W
Tipo de Acceso	TDMA (8 intervalos por trama)
Velocidad Full Rate	13 Kbps
Velocidad Half Rate	6.5 Kbps
Canales de Control	Difusión, comunes y dedicados.

Fuente: [Recomendación UIT-T K.52](#)³²

³² Unión Internacional de Telecomunicaciones (2000). *Orientación sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las personas a los Campos Electromagnéticos*. Recomendación UIT-T K.52.

2.7. PLAN DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

A nivel internacional, el mundo se dividió en tres regiones para la atribución de frecuencias, donde se muestra en la gráfica siguiente:

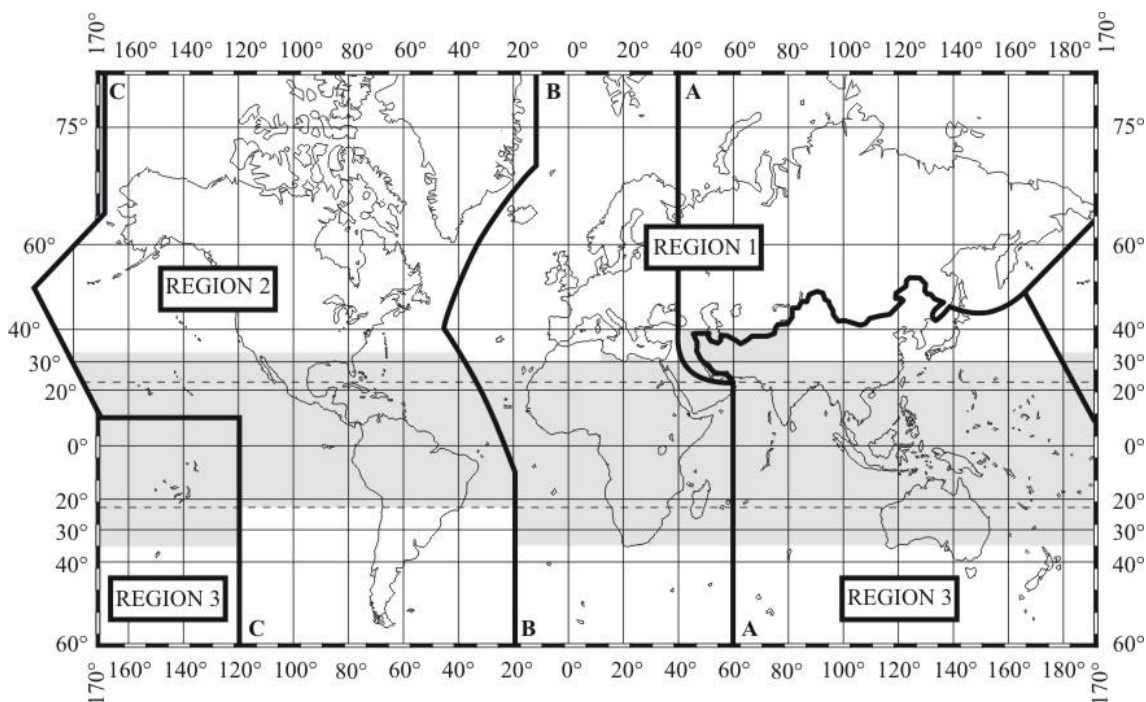


Figura 2.19. Regiones de Atribución de Bandas de Frecuencia.

Fuente: UIT-R³³.

Perú pertenece a la Región 2 de la Atribución de Bandas de Frecuencias a Nivel internacional. Se puede utilizar el rango de frecuencias de 746 - 806MHz, 806 - 869 MHz y 4 940 - 4 990 MHz.

2.5.1. Nomenclatura de Bandas de Frecuencia

Según el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias³⁴ adoptada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), se organizan las siguientes frecuencias en una tabla para las diversas aplicaciones que se desean ejecutar:

³³ Unión Internacional de Telecomunicaciones (17 de Octubre del 2010). *Bandas Armonizadas a Nivel Regional*. Recuperado el 13 de Setiembre del 2013, de:

<http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=emergency-bands&lang=es>

³⁴ Ministerio de Transportes y Comunicaciones (21 de Febrero del 2008). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 17. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de:

http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/pnaf_act_feb08.pdf

Tabla 2.6. Bandas de Frecuencias empleadas en Radiocomunicaciones

Número de la Banda	Símbolos	Rango de Frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviatura para las Bandas
4	VLF	3-30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30-300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300-3 000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3-30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30-300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300-3 000 MHz	Ondas decimétricas	B. dm
F10	SHF	3-30 GHz	Ondas centrimétricas	B. cm
11	EHF	30-300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12	---	300-3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	---

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008).

Leyenda

VLF	: Very Low Frequency.	LF	: Low Frequency.
MF	: Medium Frequency.	HF	: High Frequency.
VHF	: Very High Frequency.	UHF	: Ultra High Frequency.
SHF	: Super High Frequency.	EHF	: Extremely High Frequency.

2.5.2. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

Según R.M. N° 187-2005-MTC/03, aprobada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se pone en consideración los siguientes términos:

Mediante R.M. N° 250-97-MTC/15.19, el Plan Nacional de Atribución de frecuencias es un “documento técnico normativo que contiene los cuadros de atribución de frecuencias y la clasificación de usos de espectro radioeléctrico, así como las normas técnicas generales para la utilización del espectro radioeléctrico”³⁵.

³⁵ Ministerio de Transportes y Comunicaciones (01 de Abril del 2005). *Resolución Ministerial N° 187-2005-MTC/03*. Registro N° 506. Pág. 1. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de:

Dicho plan es modificado periódicamente con la finalidad de actualización de las Normas Técnicas y Recomendaciones otorgadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, incluyéndose nuevas notas y cambios en los rangos de frecuencias para el desarrollo de los servicios de Telecomunicaciones.

En el Perú, existen actualmente 110 Notas dentro del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, denotadas por “P” seguido de su correspondiente número (ej.: P53) con la finalidad de describir el uso de determinado rango de frecuencias en el Perú.

El establecimiento dado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones hace que el Perú se encuentre en la Región N° 2 para la Atribución de Bandas de Frecuencia. Para el estudio de Radiaciones No Ionizantes, la banda de 850 MHz se encuentra en el siguiente rango de frecuencias otorgadas por el PNAF, mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 2.7. Atribución de Bandas de Frecuencias.

REGIÓN 2	PERÚ	
	Atribución	Notas y Observaciones
806 MHz – 890 MHz	Fijo Móvil	P52, P53, P54

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008)³⁶.

Dentro del rango de 806 MHz a 890 MHz, se encuentra la banda de 850 MHz, conocida también como GSM-850, perteneciente al servicio móvil terrestre, el cual será empleado para el estudio de Radiaciones No Ionizantes de la presente tesis. La tabla presentada a continuación resume los rangos de frecuencias de ida y retorno, además de los principales operadores que la utilizan para su servicio.

<http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/control/normaslegales/PNAF%20RM%20NUEVO%2028-03-051.pdf>

³⁶ Ministerio de Transportes y Comunicaciones (21 de Febrero del 2008). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 40. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de: http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/pnaf_act_feb08.pdf

Tabla 2.8. Registro Nacional de Frecuencia GSM-850.

BANDA	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	824-835	869-880	Telefónica	A Nivel Nacional
	845-846.5	890-891.5	Móviles S.A.	
B	835-845	880-890	América Móvil	A Nivel Nacional
	846.5-849	891.5-894	Perú S.A.C.	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2005)³⁷.

Citando la Nota P53 (2008) establecida por el PNAF, otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, establece lo siguiente:

“Las bandas 824-849 MHz y 869-894 MHz están atribuidas a título primario a los servicios públicos de telecomunicaciones móviles y/o fijos. El otorgamiento de la concesión y la asignación de espectro para la explotación de dichos servicios serán mediante concurso público³⁸”. Según la R.M. N° 439-91-TC/15.17, la banda B’ se encuentra distribuida en dos sub bandas, denotadas por B1 y B2, las cuales son para servicios públicos de telecomunicaciones en áreas rurales y lugares considerados de preferente interés social en todas las provincias excepto en Lima y Callao consideradas como Área 1.

Tabla 2.9. Asignación de Sub-bandas en Banda B’.

SUB BANDA	Rango de Frecuencias (MHz) BW: 1.25 MHz	
	Ida	Retorno
B1	846.5-847.75	891.5-892.75
B2	847.75-849	892.75-894

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2005)³⁹.

³⁷ MTC (24 de Octubre del 2005). Registro Nacional de Frecuencias. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de:

http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/registros/rmf/Bandas_824-849.html

³⁸ MTC (21 de Febrero del 2008). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 65. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de:

http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/pnaf_act_feb08.pdf

³⁹ MTC (29 de Mayo del 2005). *Canalizaciones para los Servicios de Telecomunicaciones (Ira Parte)*. R.V.M. N° 268-2005-MTC/03. Pág. 22. Recuperado el 12 de Setiembre del 2013, de:

http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/PNAF%20_Canalizacion%20_ion%20final_1.pdf

2.8. NORMAS TÉCNICAS DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Sector Comunicaciones, se encarga de las Normas Técnicas y reglamentos necesarios para el estudio de las Radiaciones No Ionizantes. Existen diversos documentos y artículos publicados en el MTC para poder realizar el estudio teórico de RNI en la población orreguiana.

2.8.1. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones – Decreto Supremo N° 038-2003-MTC

El Decreto Supremo N° 038-2003-MTC establece los límites máximos permisibles para la intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencias de las Radiaciones No Ionizantes en frecuencias desde 9 kHz hasta 300 GHz⁴⁰.

a. Niveles de Referencia para Exposición Ocupacional

Los Niveles de Referencia para Exposición Ocupacional permitirán conocer los parámetros necesarios para corroborar los Límites Máximos Permisibles de RNI.

Tabla 2.10. Niveles de Referencia para Exposición Ocupacional.

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 – 65 KHz	610	24.4	-
0.065 – 1 MHz	610	1.6/f	-
1 – 10 MHz	610/f	1.6/f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400 – 2000 MHz	3f ^{0.5}	0.008f ^{0.5}	f/40
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes [2003, pág. 247643].

⁴⁰ MTC (2003). *Límites máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones*. Pág. 247643.

b. Niveles de Referencia para Exposición Poblacional

Los Niveles de Referencia para Exposición Poblacional permitirán conocer los parámetros necesarios para corroborar los Límites Máximos Permisibles de RNI.

Tabla 2.11. Niveles de Referencia para Exposición Poblacional.

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 – 65 KHz	87	5	-
0.065 – 1 MHz	87	0.73/f	-
1 – 10 MHz	87/f ^{0.5}	0.73/f	-
10 – 400 MHz	28	-	-
400 – 2000 MHz	1.375/f ^{0.5}	0.0037/f ^{0.5}	f/200
2 – 300 GHz	61	0.16	10

Fuente: Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes [2003, pág. 247643].

c. Magnitudes Físicas para el Cálculo de Radiaciones No Ionizantes

En este apartado, se muestran las unidades de medida para el cálculo de Radiaciones No Ionizantes a utilizar en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Tabla 2.12. Magnitudes Físicas para el cálculo de RNI.

MAGNITUD FÍSICA	UNIDAD DE MEDIDA	
	Designación	Símbolo Internacional
Intensidad Campo Magnético	Amperio por metro	A/m
Intensidad Campo Eléctrico	Voltio por metro	V/m
Densidad de Potencia	Vatio por metro cuadrado	W/m ²

Fuente: Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes [2003, pág. 247643].

2.8.2. Procedimiento y Métodos de Análisis Técnicos

Los Lineamientos para la evaluación del cumplimiento de los límites establecidos por el D.S. N° 038-2003-MTC será a través del empleo de métodos predictivos y de medición de las radiaciones⁴¹. Los Métodos Predictivos permitirán la evaluación teórica de la intensidad de campo o densidad de potencia, empleando cálculos teóricos con modelos de propagación adecuados para la región de campo lejano.

a. Métodos Predictivos

Emplear métodos predictivos para el estudio de Radiaciones No Ionizantes es una forma adecuada de analizar los Límites Máximos Permisibles por medio de ecuaciones, según Normativa MTC, permitiendo la evaluación teórica de la intensidad de campo o la densidad de potencia.

b. Ecuaciones Básicas empleadas en los Cálculos Teóricos

▪ Región de Campo Cercano

La distancia hasta la cual se extiende el campo cercano se determina por la fórmula siguiente:

$$R = \frac{0.6xD^2}{\lambda} \quad \dots (27)$$

Donde

R : Extensión lineal del campo cercano (m).

D : Dimensión mayor de la antena (m).

▪ Región de Campo Lejano

La región de Campo Lejano aparece cuando la distancia para el cálculo es mayor que la del radio de la antena. Es decir, cuando la distancia del punto en evaluación se encuentra a una distancia mayor que R .

⁴¹ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2004). *Norma Técnica-Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 274783.

Intensidad de Campo Eléctrico

$$E = \frac{(30 \times \text{pire})^{0.5}}{r} \quad \dots (28)$$

Densidad de Potencia

$$S_{(r,\theta,\phi)} = \frac{\text{pire} \times k^2}{4\pi r^2} \quad \dots (29)$$

Densidad de Potencia Fuera del Haz Principal

$$S_{(r,\theta,\phi)} = \frac{\text{pire} \times F_{(\theta,\phi)} \times k^2}{4\pi r^2} \quad \dots (30)$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (pire)

$$\text{pire} = p_t \times g_t \quad \dots (31)$$

Donde

p_t : Potencia de transmisión (W).

g_t : Ganancia máxima de la antena (numérica).

r : Distancia al centro de radiación de la antena al punto de interés (m).

$F_{(\theta,\phi)}$: Factor de corrección por directividad vertical y horizontal de la antena.

$S_{(r,\theta,\phi)}$: Densidad de potencia (W/m²).

E : Intensidad de campo eléctrico (V/m).

k : Factor de aumento de la intensidad de campo eléctrico debido a reflexión.

$k=1$; Las ondas reflejadas llegan atenuadas al punto de interés.

$k=2.56$; Las ondas reflejadas llegan al punto de interés en un 60 %.

$k=4$; Las ondas reflejadas llegan al punto de interés en un 100 %.

2.8.3. Distancias de Seguridad

Para el cálculo de los Límites Máximos permisibles de Distancias Mínimas hacia Antenas de Estaciones Transmisoras, dependen del PIRE (o PRE) y de la frecuencia. Existen además, dos ámbitos por los cuales se hacen los cálculos necesarios: ocupacional y poblacional.

a. Límites de Exposición Ocupacional

La tabla siguiente, extraída del D.S. N° 038-2003-MTC, muestra las distancias máximas permisibles a Nivel Ocupacional.

Tabla 2.13. Ecuaciones de distancias para Límites de Exposición Ocupacional.

BANDAS DE FRECUENCIAS	DISTANCIAS MÍNIMAS	
	0.1 MHz a 10 MHz	$r = 0.0144\sqrt{pire \times f}$
10 MHz a 400 MHz	$r = 0.143\sqrt{pire}$	$r = 0.184\sqrt{pre}$
400 MHz a 2000 MHz	$r = 2.92\sqrt{pire/f}$	$r = 3.74\sqrt{pre/f}$
2 GHz a 300 GHz	$r = 0.638\sqrt{pire}$	$r = 0.819\sqrt{pre}$

Fuente: Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes⁴².

b. Límites de Exposición Poblacional

La tabla presentada a continuación muestra las distancias máximas permisibles a Nivel Poblacional dentro del rango de frecuencias de 100 kHz - 300 GHz. Como se podrá observar, se tienen determinadas distancias permisibles dependiendo del rango de frecuencias que se llegue a operar para la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas.

Tabla 2.14. Ecuaciones de distancias para Límites de Exposición Poblacional.

BANDAS DE FRECUENCIAS	DISTANCIAS MÍNIMAS	
	0.1 MHz a 10 MHz	$r = 0.10\sqrt{pire \times f}$
10 MHz a 400 MHz	$r = 0.319\sqrt{pire}$	$r = 0.409\sqrt{pre}$
400 MHz a 2000 MHz	$r = 6.38\sqrt{pire/f}$	$r = 8.16\sqrt{pre/f}$
2 GHz a 300 GHz	$r = 0.143\sqrt{pire}$	$r = 0.184\sqrt{pre}$

Fuente: Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes⁴³.

⁴² PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003). *Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 247647.

Donde

r : Distancia mínima desde la antena (m).

f : Frecuencia (MHz).

P_{re} : Potencia Radiada Efectiva (W).

P_{ire} : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (W).

2.8.4. Determinación de la Longitud Eléctrica de la Antena

Se consideran dos tipos de antenas de acuerdo a sus dimensiones físicas, donde la longitud de onda se mantiene vinculada con la dimensión máxima de la antena.

Antenas Pequeñas $D < \lambda$... (32)

Antenas Grandes $D > \lambda$... (33)

Donde

D : Máxima dimensión lineal de la antena (m).

λ : Longitud de onda (m).

2.8.5. Determinación de las Regiones de Campo Electromagnético

Es indispensable conocer las dimensiones físicas de la antena para el estudio de las Radiaciones No Ionizantes. Según D.S. N° 038-2003- MTC, las regiones a estudiar son: región de campo cercano y región de Campo Lejano⁴⁴.

a. Antenas Pequeñas

$$R_{CC} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad \dots (34)$$

Donde

λ : Longitud de Onda (m).

⁴³ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003). *Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 247647.

⁴⁴ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2004). *Norma Técnica-Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 274782-274783.

R_{CC} : Extensión lineal del campo cercano e inicio del campo lejano.

b. Antenas Grandes

Se subdivide el campo cercano en dos regiones: campo cercano reactivo y campo cercano radiante.

Campo Cercano Reactivo y Campo Cercano Radiante

$$R_{CCR} = \frac{0.25D^2}{\lambda} \quad \dots (35)$$

Campo Cercano Radiante y Campo Lejano

$$R_{CC} = \frac{0.6D^2}{\lambda} \quad \dots (36)$$

Donde

D : Máxima Dimensión lineal de la antena, diagonal en caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular (m).

R_{CCR} : Extensión lineal de campo cercano reactivo e inicio del campo cercano radiante (m).

R_{CC} : Distancia hasta el inicio del campo lejano (m).

λ : Longitud de onda (m).

2.8.6. Estimación de los Valores de Intensidad de Campo y/o Densidad de Potencia

Para determinar los valores de Intensidad de Campo y la Densidad de Potencia, se requiere calcular en el Campo Cercano y en el Campo Lejano⁴⁵. Para ello, el espacio que rodea a una antena se puede dividir en tres regiones de forma esférica, como se muestra en la siguiente figura:

⁴⁵ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2004). *Norma Técnica-Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes*. Pág. 274783-274784.

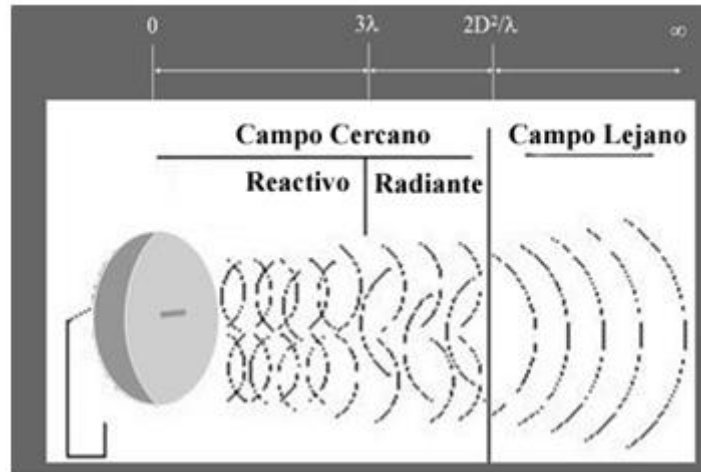


Figura 2.20. Imagen de Regiones de Campos.

Fuente: <http://www.turevista.uat.edu.mx/ANO%206%20NUMERO%2022/Figura%203%20antenas.png>

a. Cálculo en el Campo Cercano

Para el caso de antenas pequeñas o bajas frecuencias, la magnitud de la densidad de potencia dentro del haz principal de una antena varía de acuerdo a su ubicación dentro del campo cercano reactivo.

En caso de antenas grandes, se establecen valores predictivos máximos para las regiones de campo cercano reactivo y radiante, como se explican a continuación:

▪ **Cálculo en el Campo Cercano Reactivo**

$$S_{CCR} = \frac{16\eta P_1}{\pi D^2} \quad \dots (37)$$

Donde

S_{CCR} : Máxima Densidad de Potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²)

η : Eficiencia de la apertura (0.5 - 0.75).

P_1 : Potencia de Transmisión (W).

D : Máxima dimensión lineal de la antena, diagonal en el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular (m).

Antena Circular

$$\eta = \frac{\left(\frac{g_t \lambda^2}{4\pi}\right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad \dots (38)$$

Donde

g_t : Ganancia máxima de la antena (numérica).

λ : Longitud de onda (m).

D : Diámetro de apertura circular (m).

η : Eficiencia para aperturas circulares (adimensional).

Ganancia de la Antena (g_t)

$$g_t = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad \dots (39)$$

Donde

A : Área física de la antena (m²).

▪ **Cálculo en el Campo Cercano Radiante**

$$S_t = \frac{S_{CCR} \cdot R_{CCR}}{R} \quad \dots (40)$$

Donde

S_t : Densidad de potencia - Región Campo Cercano Radiante (W/m²).

S_{CCR} : Máxima densidad de potencia - Región Campo Cercano Reactivo (W/m²).

R_{CCR} : Extensión de la Región de Campo Cercano Reactivo Radiante (m).

R : Distancia al punto de interés (m).

b. Cálculo en el Campo Lejano

Debido al comportamiento de onda plana, se cumple con la siguiente condición:

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2 \quad \dots (41)$$

Donde

S : Densidad de potencia (W/m²).

2.8.7. Cálculos Referenciales para la Determinación de la Exposición del Campo Electromagnético

Para los cálculos referenciales de la exposición de Radiación No Ionizante en una determinada zona, se emplea dos casos para su estudio.

a. Exposición al Nivel del Suelo en el Campo Lejano

Este caso, presenta a un usuario, el cual está a una distancia (x) de la Estación base, y a una altura (h) desde el nivel del suelo hasta el nivel de la antena instalada. El ángulo generado desde el nivel de referencia de la antena hasta el usuario es denotado por (θ) y por trigonometría se obtiene la distancia (R) entre la antena y el usuario.

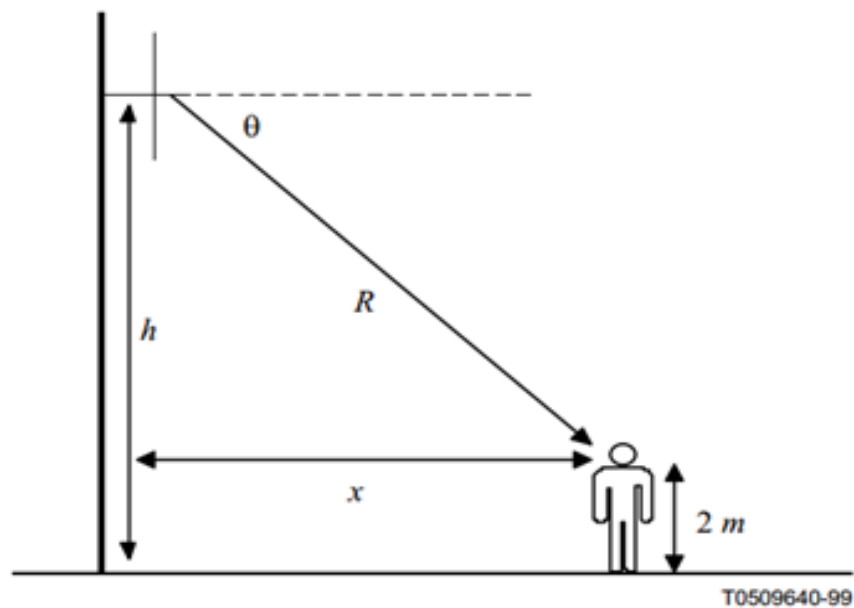


Figura 2.21. Configuración para cálculo de exposición RNI a nivel del suelo.

Fuente: Recomendaciones UIT-T k.52⁴⁶.

Se define lo siguiente

$$h' = h - 2 \quad \dots (42)$$

$$r^2 = h'^2 + x^2 \quad \dots (43)$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{h'}{x} \right) \quad \dots (44)$$

$$S_{(r,\theta,\phi)} = \frac{\text{pire} \times F_{(\theta,\phi)} \times k^2}{4\pi r^2} \quad \dots (45)$$

$$F_{(\theta,\phi)} = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \text{sen}(\theta)\right)}{\cos\theta} \right]^2 \quad \dots (46)$$

⁴⁶ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 27.

▪ Potencia de Exposición

Se representa por medio de una gráfica de Potencia de Exposición de una antena desde el nivel de suelo con $P_{\text{ire}} = 1000$ Watts, dependiendo de la distancia de transmisión de la señal, para tres alturas distintas: 10 m., 20 m. y 30m.

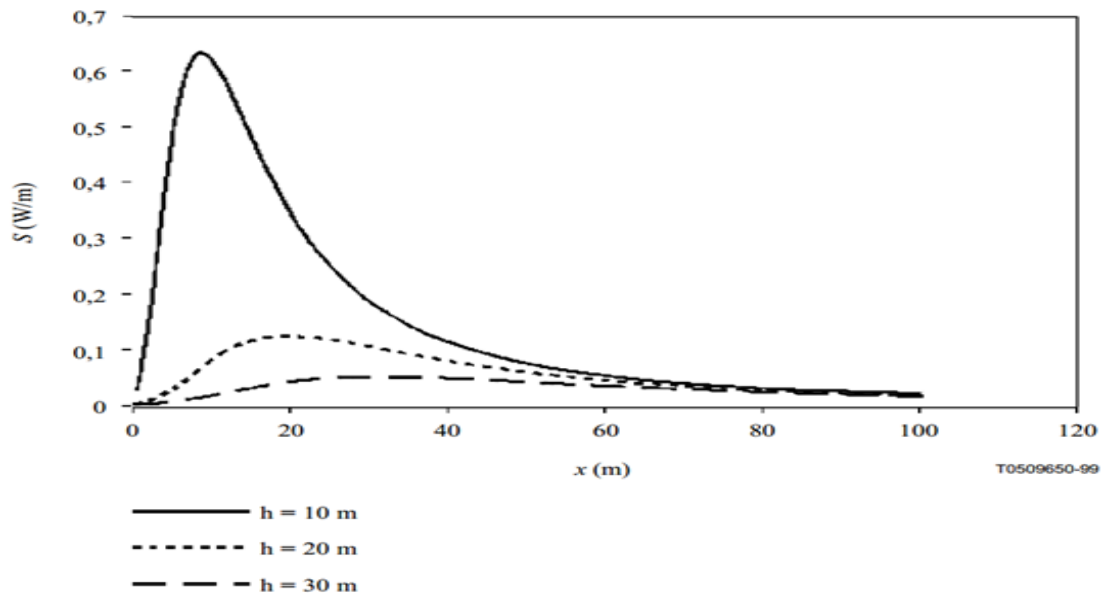


Figura 2.22. Potencia de Exposición a nivel de suelo con $P_{\text{ire}} = 1000$ W.

Fuente: Recomendaciones UIT-T k.52⁴⁷.

b. Exposición en un Edificio Adyacente en el Campo Lejano

De la misma manera, se establece los cálculos necesarios para un usuario (2m) estando sobre un edificio de altura (h_2), teniendo una distancia desde la Estación Base hasta el punto donde está situado el usuario (x).

⁴⁷ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 28.

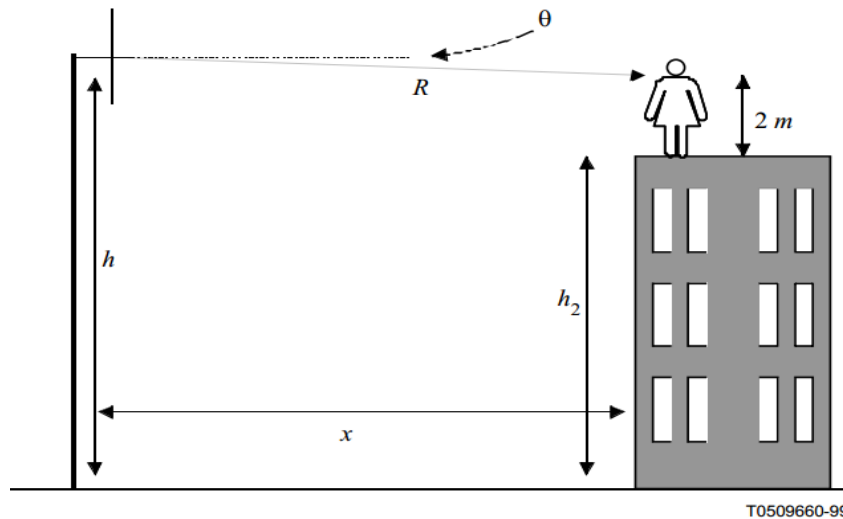


Figura 2.23. Configuración para cálculo de exposición RNI en edificio adyacente.

Fuente: Recomendaciones UIT-T k.52⁴⁸.

Se define lo siguiente:

$$h' = h - h_2 - 2 \quad \dots (47)$$

$$r^2 = h'^2 + x^2 \quad \dots (48)$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{h'}{x} \right) \quad \dots (49)$$

$$Dh = h - h_2 \quad \dots (50)$$

$$S_{(r,\theta,\phi)} = \frac{\text{pire} \times F_{(\theta,\phi)}}{4\pi r^2} \quad \dots (51)$$

$$F_{(\theta,\phi)} = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \text{sen}(\theta)\right)}{\cos\theta} \right]^2 \quad \dots (52)$$

▪ **Potencia de Exposición con pire = 1000 W**

Se representa por medio de una gráfica de Potencia de Exposición de una antena desde una altura h_2 con $\text{pire} = 1000$ Watts, dependiendo de la distancia de transmisión de la señal. Se adjunta en la gráfica siguiente tres líneas denotadas para tres alturas (Dh) distintas: 5 m., 10 m. y 20 m.

⁴⁸ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 29.

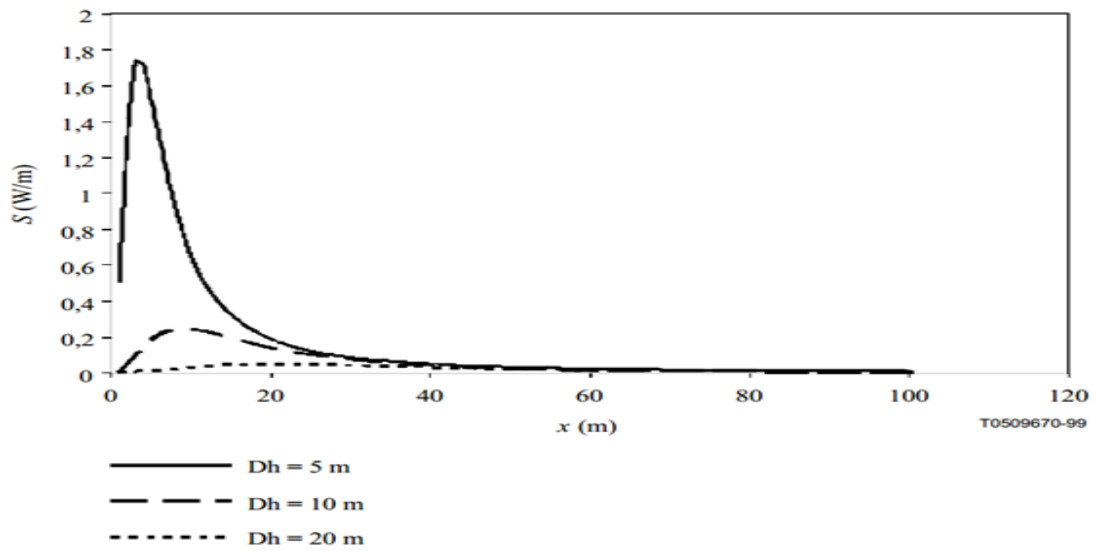


Figura 2.24. Potencia de Exposición en edificio adyacente con $P_{ire} = 1000$ W.

Fuente: Recomendaciones UIT-T k.52⁴⁹.

⁴⁹ PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011). *Plan Nacional de Atribución de Frecuencias*. Pág. 30.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de Investigación

La investigación planteada para el presente trabajo de tesis según su carácter es cuantitativa-cualitativa. Este tipo de investigación es llamado también “enfoque mixto”. Según los autores Hernández, R.; Fernández, C.; y Baptista, P.; en su libro titulado “*Metodología de la Investigación*” (2006, Pág. 755), define el enfoque mixto como: “... un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder un planteamiento del problema”.

Además, el tipo de investigación según su finalidad es aplicada. Para Ander-Egg, en su libro titulado “*La Investigación Social*” (1977, Pág. 33), “La investigación aplicada concentra su atención en las posibilidades fácticas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver los problemas y necesidades que se plantean los hombres en sociedad en un corto, mediano o largo plazo”.

El presente trabajo de tesis está destinado a analizar, estimar, comparar, y verificar el estudio teórico del impacto generado por las Radiaciones No Ionizantes en la banda GSM 850 dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación propuesto en el presente trabajo de tesis es de tipo documental. En el trabajo se incluye un capítulo de análisis y recopilación de documentación existente acerca de los estudios teóricos y experimentales de Radiaciones No Ionizantes que se toman como referencia para el desarrollo de la presente tesis, además de datos estadísticos acerca de la capacidad de usuarios que alberga los servicios de Telefonía Móvil Claro Perú S.A.C. y Movistar Perú S.A.C., de los cuales se obtendrá estadísticas de congestión del servicio que cada uno de los operadores poseen, así como datos geográficos del Campus UPAO-Trujillo, hojas técnicas, equipamiento de BTS y herramienta de cálculo disponible para el estudio teórico de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

3.3. Recolección de Datos

Para el desarrollo del presente trabajo de tesis ha sido necesario obtener gran variedad de referencias bibliográficas (Libros especializados, Tesis, Hojas técnicas de equipos, Artículos web, etc.) y fuentes experimentales (encuestas, reuniones y entrevistas, estadísticas de servicios, etc.). Toda la información extraída para el desarrollo de la tesis fue clasificada, organizada y procesada para obtener los datos más relevantes y aplicarlos a la problemática establecida. Por consiguiente, se pudo realizar un desarrollo consistente del estudio de Radiaciones No Ionizantes en la Banda GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

3.4. Materiales

Para poder determinar el problema de investigación, identificar y analizar la realidad problemática, plantear los requerimientos técnicos, adecuarse a la normativa MTC vigente, realizar el diseño y dimensionamiento de la simulación de una Estación Base Celular en el Campus UPAO - Trujillo, se realizaron encuestas a 726 personas, según la muestra extraída de las personas que conforman la población universitaria de la Universidad Privada Antenor Orrego Ciclo 2013 - II (alumnos, docentes y personal administrativo); y también se realizaron entrevistas a los principales operadores de telefonía móvil en Trujillo (Claro Perú S.A.C. y Movistar Perú S.A.C.) como parte metodológica y material de la presente investigación.

Con ello, se pudo comprobar el posible interés que se tiene en la instalación de una Estación Celular con tecnología GSM, identificando el incremento de la demanda de usuarios móviles que alberga la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y la necesidad por disminuir la congestión de llamadas que dicha demanda ocasiona debido a la limitada cantidad de capacidad de usuarios dentro de dicha región.

A partir de las encuestas realizadas a los dos operadores más importantes de telefonía celular en la ciudad de Trujillo, se concluye que la empresa Claro Perú S.A.C. tiene un notable interés por cubrir la demanda de usuarios que existe dentro del Campus Universitario; no obstante, no existe un estudio previo realizado en dicha región

geográfica. Por lo tanto, para el desarrollo de la presente tesis, se cuenta con los siguientes materiales:

a. Información de población universitaria del Campus UPAO – Trujillo

Debido a los archivos y carpetas confidenciales de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, no se pudo extraer la información exacta de la cantidad de población estudiantil total en cada uno de los pabellones existentes de todo el Campus Universitario. Por lo que, solamente se pudo recopilar información acerca del total de la población estudiantil de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, el cual es un aproximado de 19 000 estudiantes, 1 200 docentes y 500 administrativos, dando un total de 22 000 usuarios que utilizan el servicio de telefonía celular de los principales operadores de telefonía móvil.

b. Diagramas de Infraestructura de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

Se obtuvo información acerca de las áreas pobladas de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo: existen actualmente proyectos de remodelación de infraestructura dentro de los cuales la universidad se encontrará beneficiada. Una de las fuentes de información más importantes es “Trujillo Proyectos”, el cual presenta a través de dos páginas web: [<https://www.facebook.com/truxproy>] Facebook y [<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=371276>] Skyscrapercity. Con ello, se planea que para el año 2015 el Campus UPAO - Trujillo contará con tres nuevas instalaciones: Torre de Informática - Administración General, Torre de Postgrado - Centro de Idiomas y el Auditorio Central, tal y como se muestra en la siguiente figura:

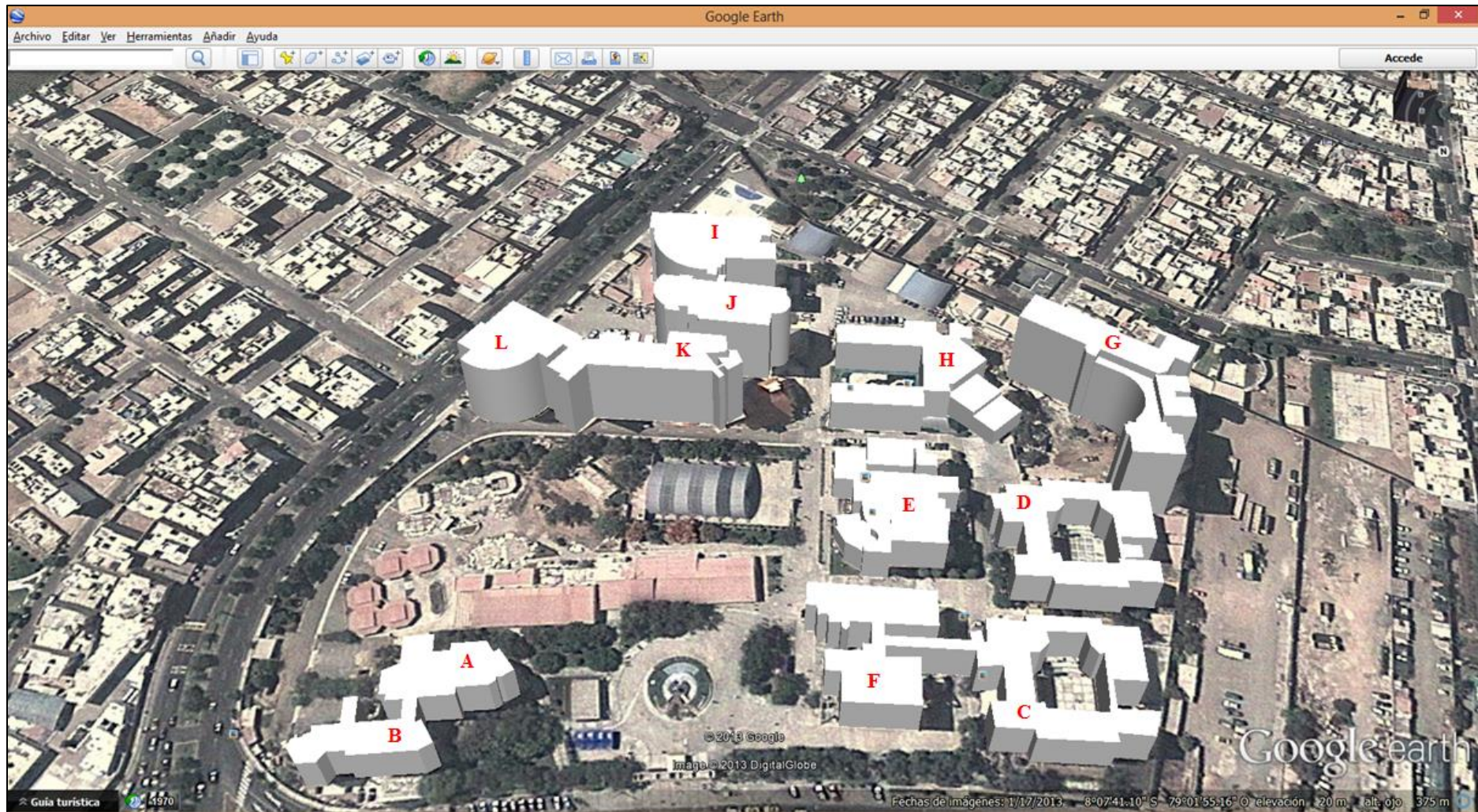


Figura 3.1. Plano de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2013.

Fuente: Elaboración Propia.

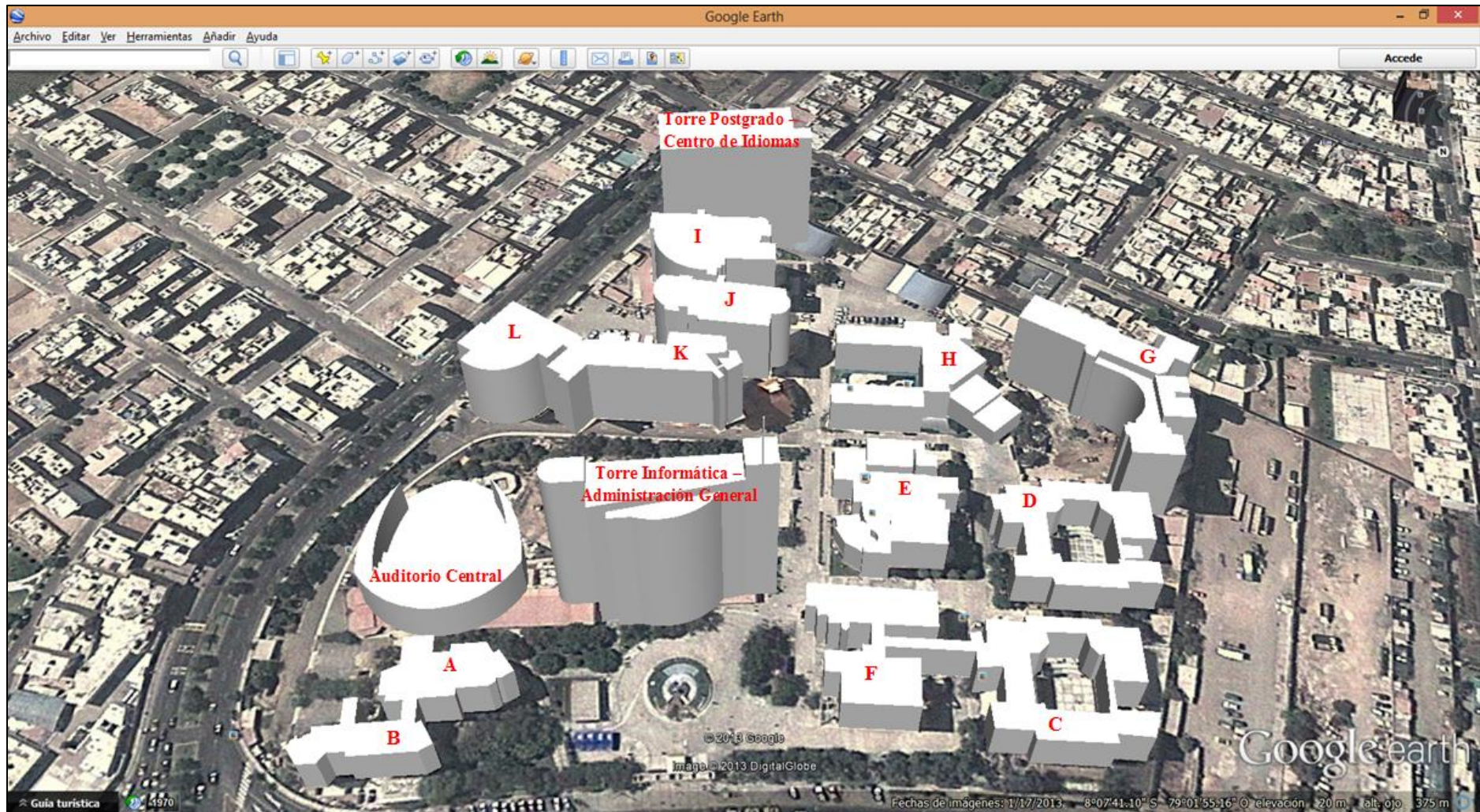


Figura 3.2. Plano de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2015.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la Figura 3.1, cada uno de los pabellones tiene consigo una letra con las cuales se pueden identificar a los pabellones y por consiguiente ubicarse dentro de la universidad. Tanto los pabellones G, I, J, K y L tienen 9 pisos, cada piso tiene aprox. 3.4 m. de altura. Como la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo está remodelando las zonas donde no se ven algunos edificios en 3D, será necesario desarrollar el análisis de la misma para un futuro, junto con las dos torres nuevas y el auditorio central.

La Figura 3.2 demuestra que la propuesta debe de ser evaluada y estimada para la posible instalación de una estación base celular dentro del Campus UPAO - Trujillo. Esto se debe a los cambios que se harán en la universidad tales como la construcción de la Torre de Informática y Administración General, la Torre de Postgrado y Centro de Idiomas, y el Auditorio Central.

c. Encuestas Aplicadas a población universitaria del Campus UPAO - Trujillo

Las encuestas elaboradas para la población orreguiana de Trujillo (estudiantes universitarios, docentes y personal administrativo) tuvo como finalidad el reconocer la problemática de falta de capacidad de usuarios del servicio de telefonía móvil, y asimismo identificar las zonas donde la demanda de usuarios es crítica dentro de la universidad. Entre los aspectos más importantes a los que se orientó la encuesta, se destacan:

- Conocer la demanda de usuarios en determinadas zonas de la UPAO - Trujillo.
- Obtener la percepción de la población universitaria respecto de las Radiaciones no Ionizantes en antenas celulares.
- Necesidad por parte los usuarios en el campus UPAO para la instalación de una nueva antena celular.

Se pudo obtener información acerca de las zonas donde no existe la capacidad suficiente para cubrir la demanda de los usuarios en determinadas partes del interior del Campus UPAO - Trujillo; por lo que solamente se podía aplicar el servicio de mensajería de texto para envío y recepción entre operadores móviles.

A su vez, se pudo determinar que la población universitaria utiliza el servicio de telefonía celular masivamente, es decir, utilizan los equipos celulares varias horas al día. No obstante, se tiene un cierto temor en la instalación de una antena celular dentro de las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Cabe destacar que la información obtenida con la encuesta aplicada se utilizó para evidenciar la problemática de la presente tesis para el desarrollo de la misma. El formato de la encuesta aplicada se adjunta a los anexos del presente trabajo.

d. Reuniones y Entrevistas con Representante de Operador Claro Perú S.A.C.

Para determinar las características de la realidad problemática desde el punto de vista del operador, se realizaron entrevistas a los representantes del Network Operation Center, personal del área de Ingeniería de Operaciones del Servicio de Telefonía Móvil de la empresa Claro Perú S.A.C. La entrevista aplicada sirvió como base para poder proponer la instalación de un Site BTS en la banda GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

De la entrevista realizada se pudo conocer la relación y el acuerdo comercial que mantiene la Empresa Claro Perú S.A.C. con Huawei y Nokia, de lo cual se observó que el operador utiliza la tecnología de estos dos proveedores para las instalaciones de Sites GSM como GPRS/EDGE/UMTS/WCDMA en las bandas de 850 y 1900 MHz.

Asimismo, cabe resaltar que la empresa Claro tiene un gran interés por cubrir con Estaciones Base determinadas zonas de la ciudad donde existe una gran demanda de usuarios como es el caso del Campus UPAO - Trujillo, ya que actualmente alberga en su totalidad a 22 000 usuarios.

e. Reuniones y Entrevistas con Representante de Operador Movistar Perú S.A.C.

Asimismo se aplicó la misma entrevista al operador Movistar Perú S.A.C. Con dicha entrevista, se pudo conocer que la empresa Movistar Perú S.A.C. actualmente tiene cierto interés en las instalaciones de nuevas estaciones base en zonas como

Monserrate, La Arboleda y aledañas. A su vez, en la Universidad Privada Antenor Orrego existe un interés marcado, pero no una prioridad inmediata, el instalar una antena de Estación Base exclusiva para la población universitaria, debido al costo del estudio e instalación que éste generaría.

f. Información Técnica acerca del equipamiento necesario de una Estación Base GSM 850 MHz en el Campus UPAO – Trujillo

Para realizar el desarrollo del estudio teórico de Radiaciones No Ionizantes en la banda GSM-850, se obtuvo información técnica correspondiente de algunas referencias bibliográficas como libros, tesis de diseño concernientes acerca del equipamiento necesario para una estación base con tecnología GSM en la banda de 850 MHz.

Teniendo como finalidad el estimar los cálculos para las Radiaciones No Ionizantes en el Campus UPAO - Trujillo, se obtuvo información necesaria de Estaciones Base del proveedor “Huawei”, para la banda GSM 850 MHz; y también información del proveedor “Andrew” para las antenas de telefonía celular.

Dentro de las referencias bibliográficas más importantes para el conocimiento, simulación de diseño y selección de equipos adecuados a tecnología GSM en la banda de 850 MHz propuesto en el siguiente trabajo de tesis, se tomaron en consideración los siguientes textos, sin ser los únicos tratados durante la elaboración del mismo:

- Huawei Technologies Co., LTD (2013). Node B V200R013.
- Andrew Commscope. DBXLH-6565-C-VTM. Dual Band Antenna 824-960 MHz y 1710-2180 MHz.
- Huawei Technologies Co., LTD (2013). Technical Specifications for MRFU.
- Huawei Technologies Co., LTD (2013). BBU3900 GSM. VR300R008.
- Huawei Technologies Co., LTD (2013). BTS3900 Family.

g. Información Técnica utilizada para el Cálculo de Radiaciones No Ionizantes según Normativa Vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Una vez obtenida la información respectiva sobre las características técnicas para el equipamiento necesario de una Estación Base en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, se procedió a recopilar información para realizar el análisis del presente proyecto de tesis. Se procedió a recolectar la siguiente información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, debido a Normativas de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en antenas celulares, para aplicarlos al desarrollo de la presente tesis:

- D.S. N° 038-2003-MTC : Establecen Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.
- D.S. N° 038-2006-MTC : Modifican D.S. N° 038-2003-MTC mediante el cual se aprobaron Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.
- R.M. N° 612-2004 MTC/03 : Norma Técnica Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes.
- R.M. N° 613-2004 MTC/03 : Aprueban Norma Técnica sobre Protocolos de Medición de Radiaciones No Ionizantes.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias.

3.5. Procedimiento

El procedimiento seguido en la presente tesis se organizó de la siguiente manera: Primero, se buscó información sobre la cantidad de población universitaria (estudiantes universitarios, docentes y personal administrativo) que cuenta con un servicio de telefonía móvil; entre los operadores principales destacan Claro Perú S.A.C. y Movistar Perú S.A.C., delimitando así la problemática planteada. Una vez delimitada la realidad problemática, se elaboró una encuesta destinada a una parte de la población orreguiana para obtener el análisis de las características de la realidad problemática de la presente tesis en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Gracias a los resultados obtenidos de la encuesta, se procedió a realizar una entrevista a los dos principales operadores de telefonía celular en la ciudad de Trujillo: Claro Perú S.A.C. y Movistar Perú S.A.C.; donde se apreció el interés de uno de estos operadores por colocar una estación base en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Después, se recopiló información acerca de las redes de telefonía móvil aledañas a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, para conocer la cobertura que estos Sites tienen sobre la universidad. Además, se procedió a obtener y procesar la información respecto a los equipos y dispositivos necesarios que la empresa Claro Perú S.A.C. emplea en la instalación de una BTS para tecnología GSM.

Por consiguiente, se seleccionó el equipamiento respectivo de los proveedores que utiliza la empresa Claro Perú S.A.C. para utilizar en la instalación de un Site BTS para GSM-850. Gracias a la información de las hojas técnicas obtenidas de los proveedores de Claro, se elaboró una herramienta de cálculo capaz de obtener un análisis minucioso de los resultados de los parámetros de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes tales como: Densidad de Potencia, Intensidad de Campo Eléctrico e Intensidad de Campo Magnético irradiados por la antena celular. Asimismo, se procedió a recolectar información acerca de la Normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual estableció los límites de las Radiaciones No Ionizantes. Y finalmente, se realizó la proyección de resultados de la presente tesis.

a. Información sobre Usuarios que utilizan el servicio de telefonía móvil en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

Para evidenciar y justificar la problemática existente en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, desde el punto de vista del usuario o cliente del servicio móvil, se recolectó información acerca de la cantidad de usuarios presentes en el Campus y el porcentaje de participación de los principales operadores de telefonía celular: Claro Perú S.A.C. y Movistar Perú S.A.C. Una vez recaudada la información de la cantidad de usuarios que alberga la universidad (22 000 clientes), se tomó una muestra significativa de 726 clientes.

b. Encuesta realizada a la población universitaria en general en el Campus UPAO - Trujillo

Una vez obtenida la muestra de 726 usuarios, se aplicó una encuesta basada en la instalación de una Estación Base de telefonía móvil en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y el impacto que generaría en la población orreguiana debido a las Radiaciones No Ionizantes de las antenas. Dicha encuesta estuvo destinada a estudiantes universitarios, así como a docentes y al personal administrativo, para así estimar un porcentaje más aproximado de la cantidad de personas que usan el servicio y en las zonas donde hay mayor demanda y límites de capacidad de usuarios en el Campus UPAO - Trujillo.

c. Entrevista a los Principales Operadores de Telefonía Móvil en Trujillo

Teniendo ya la problemática delimitada, desde el punto de vista del usuario final, y los resultados de la encuesta realizada a la población orreguiana, se buscó entrevistar por separado a cada uno de los principales operadores de telefonía móvil en Trujillo: Claro Perú S.A.C y Movistar Perú S.A.C. Asimismo, se pudo obtener información acerca del notable interés que el operador Claro tiene dentro de las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y de los Sites ubicados cerca de la zona donde se desarrolló la presente tesis.

d. Clasificación de Información sobre la Red de Telefonía Móvil Claro Perú S.A.C. en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Para el análisis de la realidad problemática desde el punto de vista del operador se tuvo acceso a algunas estadísticas del operador Claro Perú S.A.C., debido a la restricción parcial de la información. Los datos más relevantes corresponden a reportes de la BTS ubicada en el restaurante Orlando's, el cual alberga una parte del Campus UPAO - Trujillo y donde se pueden apreciar las tendencias de saturación de tráfico y la limitación de cobertura que se tiene dentro de la universidad.

e. Procesamiento de Información acerca de los equipos y dispositivos necesarios para la instalación de una Estación Celular GSM.

Una vez obtenida la información respectiva acerca de las estadísticas por parte del operador de telefonía celular, se obtuvo información acerca de los equipos comerciales que usan los operadores que brindan el servicio de telefonía móvil, principalmente de la empresa Claro Perú S.A.C. Es por ello que la presente tesis se tiene a la empresa Claro como operador debido al notable interés que tiene en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, el cual trabaja junto a los proveedores Huawei y Nokia, para tecnologías GSM, quienes le brindan las hojas técnicas necesarias y los dispositivos para la instalación de estaciones celulares en toda la zona de Trujillo.

f. Selección de Equipamiento de Site BTS GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

Como se mencionó anteriormente acerca de la entrevista realizada al jefe de Operaciones de la empresa Claro Perú S.A.C., permitió obtener conocimiento acerca de los dos principales proveedores que brindan el equipamiento necesario para las Estaciones Base. Luego de una minuciosa comparación entre las principales características técnicas para la instalación de una estación celular se pudo observar que no existe una diferencia marcada entre ambos proveedores, debido a que ambos tienen las mismas funciones.

Por lo que, el proveedor del cual se basará en la presente tesis es el de Huawei para obtener las hojas técnicas de los equipos necesarios en la instalación de una Estación Base. A su vez se optó por recolectar información de las hojas técnicas de Andrew® para la instalación de las antenas en la banda GSM-850. Gracias a estas hojas técnicas se pudo elaborar la herramienta de cálculo que facilitará los resultados de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes que emiten dichas antenas, tales como: Densidad de Potencia, Intensidad de Campo Eléctrico e Intensidad de Campo Magnético.

g. Elaboración de Herramienta para Cálculo Estimado de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

Cuando ya se tuvo la información de las hojas técnicas de los proveedores Huawei y Andrew, junto con la información acerca de la población universitaria y la banda GSM-850, se desarrolla la herramienta de cálculo en Microsoft Excel 2010, junto con la ayuda de Google Maps, Google Earth, Google Sketch Up 7 y Radio Mobile para un mayor análisis de los parámetros necesarios a medir y obtener resultados para cumplir con la Normativa MTC de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

h. Normativa MTC Vigente de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Antenas Celulares GSM-850

Paralelamente a la elaboración de la herramienta de cálculo para desarrollar el análisis de los resultados de Radiaciones No Ionizantes, se procedió a recolectar toda la información sobre los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes respaldadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se encontraron 5 archivos importantes para el desarrollo del análisis de los resultados de la posible instalación de una BTS GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

i. Proyección de Resultados

El operador Claro Perú S.A.C. paralelamente a la tesis desarrollada empezó a su vez el análisis para la instalación de un Site dentro del Campus de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Gracias a ello se pudo finalizar la presente tesis debido al alcance de las hojas técnicas y la mejora continua de la herramienta de cálculo, asimismo de la proyección de los nuevos edificios que habrán en la universidad como la Torre de Informática y Administración General, la Torre de Postgrado y Centro de Idiomas, y el Auditorio Central; los cuales albergarán una gran demanda de usuarios.

CAPÍTULO IV
DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

La Universidad Privada Antenor Orrego se encuentra situada entre el cruce de la Avenida América Sur y la Prolongación César Vallejo, perteneciente a la Urbanización La Arboleda.

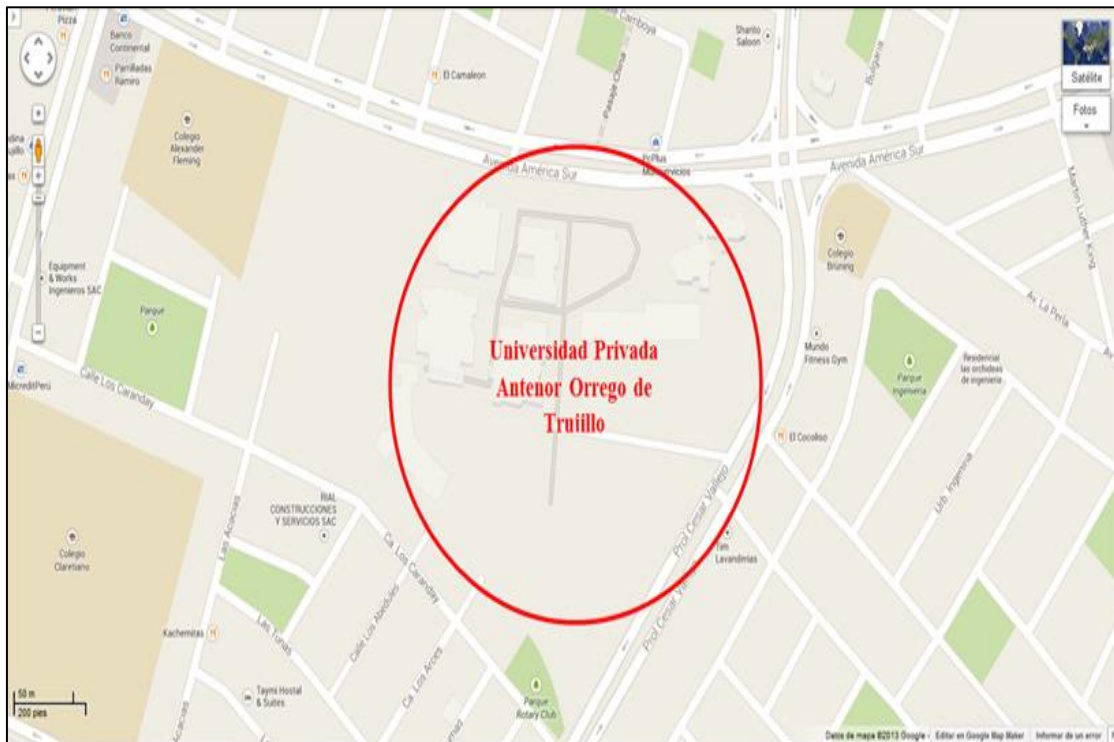


Figura 4.1. Plano Ubicación de Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Fuente: Google Maps⁵⁰.

La universidad actualmente tiene 12 edificios principales, que los denominaremos pabellones, los cuales albergan una cantidad determinada de estudiantes universitarios en cada uno de los mismos, tal y como se presenta en la siguiente figura:

⁵⁰ Recuperado el 01 de Noviembre del 2013.

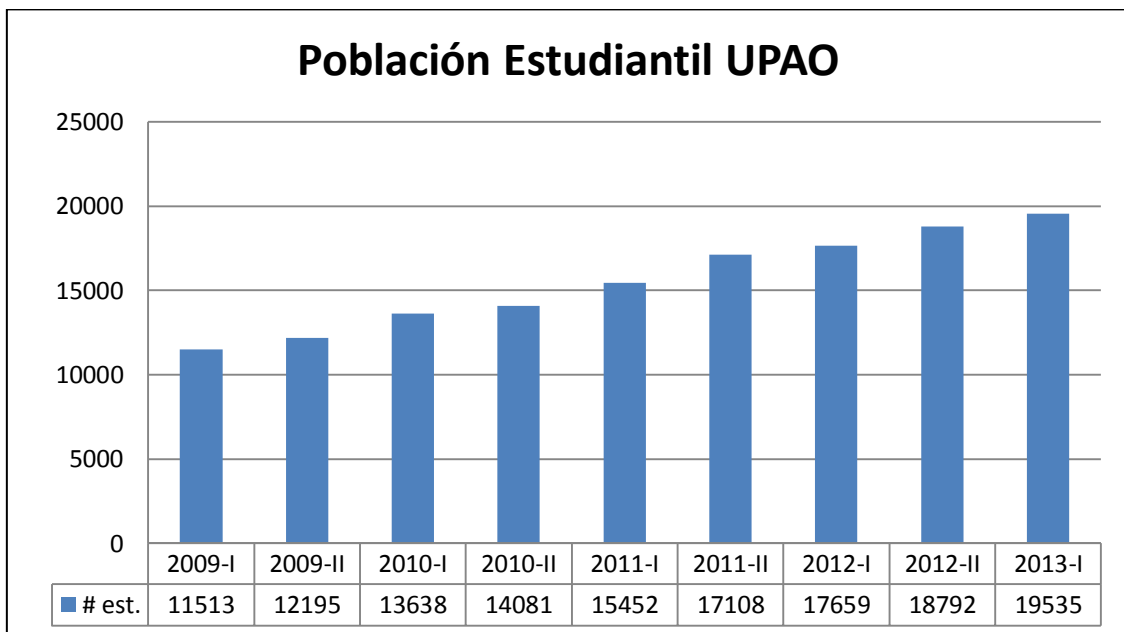


Figura 4.2. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2013.

Fuente: Google Earth.

Además, se cuenta con la estimación de estudiantes desde el 2009 hasta el primer semestre del presente año académico, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Estimación de Población Universitaria en Campus UPAO - Trujillo.



Fuente: Elaboración Propia.

Debido al incremento de la demanda de estudiantes universitarios que residen en la universidad e ingresantes en cada ciclo académico, la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo se encuentra actualmente en crecimiento; existen proyectos de infraestructura para modificar algunas partes de la universidad donde se albergará una mayor población estudiantil: Torre de Informática y Administración General, Torre de Postgrado y Centro de Idiomas, el Auditorio Central y el Pabellón de Ingeniería, tal y como se puede apreciar en el plano siguiente (Figura 4.3).



Figura 4.3. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo año 2015.

Fuente: Trujillo Proyectos⁵¹.

⁵¹ Trujillo Proyectos. Universidad Privada Antenor Orrego para el Año 2015. Recuperado el 21 de Octubre de 2013 de:
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=166766470092965&set=a.131468970289382.16508.129594787143467&type=3&theater>

4.2. Operador Celular Claro Perú S.A.C.

La entrevista realizada a este operador de telefonía móvil tuvo 10 preguntas de las cuales se consiguió obtener información acerca del tráfico de usuarios en determinadas circunstancias (horas pico, días de gran demanda de usuarios, etc.) y algún interés por colocar algunas estaciones base en zonas donde la población se encuentra en gran demanda de utilizar el servicio celular (universidades); y por supuesto se trata finalmente acerca de la radiación que las antenas de telefonía celular generan en la población.

A su vez, la entrevista realizada tuvo la finalidad de conocer sobre el interés que tienen los dos principales operadores móviles acerca de la instalación de antenas celulares en una zona donde ocupa una gran cantidad de usuarios móviles. Tal es el caso de Claro Perú S.A.C., quienes se encuentran actualmente interesados en brindar sus servicios de telefonía móvil en las universidades como la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, debido a la gran demanda existente de la población universitaria en esa zona y al límite de capacidad de usuarios de estaciones base aledañas a la universidad⁵².

La empresa de telefonía móvil Claro Perú S.A.C. es la marca comercial con la que América Móvil opera en el Perú. Actualmente Claro posee cobertura de redes GSM (transmisión de voz y mensajes de texto) y GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA (transmisión de datos a alta velocidad) en la ciudad de Trujillo⁵³.

En la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, el acceso con que cuentan los usuarios para disponer del servicio de telefonía celular del operador Claro es a través de las BTS (Redes GSM) y Nodos B (redes 3G), los cuales se encuentran ubicados en zonas cercanas al Campus Universitario. Tanto las estaciones base de red GSM como las de red GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA se encuentran co-ubicados en una sola unidad denominada Site.

⁵² ANEXO 2. Entrevista realizada a representante de operador Claro S.A.C. en Trujillo.

⁵³ CLARO PERÚ S.A.C. Recuperado el 22 de Octubre de 2013 de:
<http://www.claro.com.pe/wps/portal/pe/sc/personas/institucional>

4.3. Sites Claro aledaños a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

La Universidad Privada Antenor Orrego se encuentra atendida parcialmente por 4 Sites de la empresa Claro Perú S.A.C., los cuales se mencionan a continuación:

a. Site de Restaurante Orlando's

El Site ubicado en el Restaurant Orlando's se encuentra ubicado en la Prolongación Cesar Vallejo. Cuenta con dos tipos de antenas duales para la transmisión de voz y datos y cubriendo además una parte de la zona este de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, tal y como se muestra en la Figura 4.4:



Figura 4.4. Site BTS en Orlando's.

Fuente: Elaboración Propia⁵⁴.

⁵⁴ Fotografía tomada el 25 de Octubre del 2013.

b. Site Central Claro en Av. Larco

El Site Central Claro presenta las siguientes redes en su Estación Base: Redes de Acceso, Redes de Transporte y Redes de Conmutación. En el caso de las redes de acceso, la Central Claro cuenta con tecnología inalámbrica tales como: GSM, GPRS/EDGE, UMTS, HSDPA, WiFi, WiMAX, LMDS, los cuales brindan el servicio local para el tráfico de usuarios en la ciudad de Trujillo. Para las redes de transporte este operador cuenta con: PDH, SDH, DWDM, enlazando al operador con otras ciudades vecinas que cuentan con el mismo servicio de telefonía celular.



Figura 4.5. Site BTS en Central Larco.

Fuente: Elaboración Propia⁵⁵.

⁵⁵ Fotografía tomada el 25 de Octubre del 2013.

c. Site Mimetizado en Av. Avenida América Sur

El Site mimetizado que claro posee cerca del Campus UPAO – Trujillo. Está ubicada Av. América Sur. Fue creado especialmente para cubrir parte de la demanda de tráfico existente en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.



Figura 4.6. Site BTS Mimetizada en Avenida América Sur.

Fuente: Elaboración Propia.

d. Site en Av. Los Ángeles - California

El Site ubicado en la Av. Los Ángeles, con referencia a lado de Wong; cubre en parte con la parte Sur de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Anteriormente este Site estaba ocupado por otra antena de telefonía celular de la empresa Claro, no obstante, se retiró esa estación debido a la migración de tecnología.



Figura 4.7. Site BTS en Los Ángeles.

Fuente: Elaboración Propia⁵⁶.

Por lo que, para tener una mayor referencia para poder apreciar los cuatro Sites que cubren parte del Campus UPAO - Trujillo, se elaboró un mapa referencial con la herramienta Google Maps, tal y como se muestra en la siguiente figura:

⁵⁶ Fotografía tomada el 25 de Octubre del 2013.



Figura 4.8. Plano de Sites BTS aledañas a la UPAO-Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia⁵⁷.

⁵⁷ Imagen recuperada el 26 de Octubre del 2013.

4.4. Estación Base GSM 850 MHz

El Servicio de Acceso que presenta la empresa de telefonía móvil Claro Perú S.A.C, se presenta en las siguientes bandas de frecuencia⁵⁸:

GSM : 850 MHz / 1900 MHz.

EDGE / UMTS : 850 MHz / 1900 MHz.

Componentes que Conforman una BTS con Tecnología GSM

Huawei Technologies ha desarrollado algunos componentes que serán utilizados en la propuesta de instalación de un Site en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, teniendo en cuenta que se aplicará para la banda GSM-850. Tales dispositivos se mencionan a continuación:

▪ Multi-Mode Radio Frequency Unit (MRFU) – Huawei Technologies co. LTD

La Unidad de Radiofrecuencia Multimodal (MRFU) es un módulo del proveedor Huawei Technologies. Este dispositivo utiliza las tecnologías: GSM, UMTS y LTE⁵⁹. Asimismo posee una alta velocidad en la unidad de interface, es un amplificador de potencia de señal y un duplexor simultáneamente. Este módulo presenta tres versiones: MRFU V1, MRFU V2 y MRFU V2a. Debido a las características técnicas que presenta este módulo, se toma en cuenta el MRFU V2 para la banda GSM-850, del cual se tomaron las siguientes características técnicas:

Tabla 4.2. Características Técnicas del MRFU V2 – Marca Huawei.

Tipo	Frecuencia (MHz)	Frecuencia de Recepción (MHz)	Frecuencia de Transmisión (MHz)	Modo
MRFU V2	850	824-846.5	869-891.5	GSM y UMTS.

Fuente: Huawei Technologies⁶⁰.

⁵⁸ Claro Perú S.A.C. Recuperado el 22 de Octubre del 2013 de:

<http://www.claro.com.pe/wps/portal/pe/sc/personas/institucional>

⁵⁹ Huawei Technologies co., LTD. Node B V200R013. Technical Description. Pág. 86.

⁶⁰ Huawei Technologies co., LTD. Node B V200R013. Technical Description. Pág. 85-86.

A continuación, se presenta la estructura física del MRFU de la Marca Huawei:

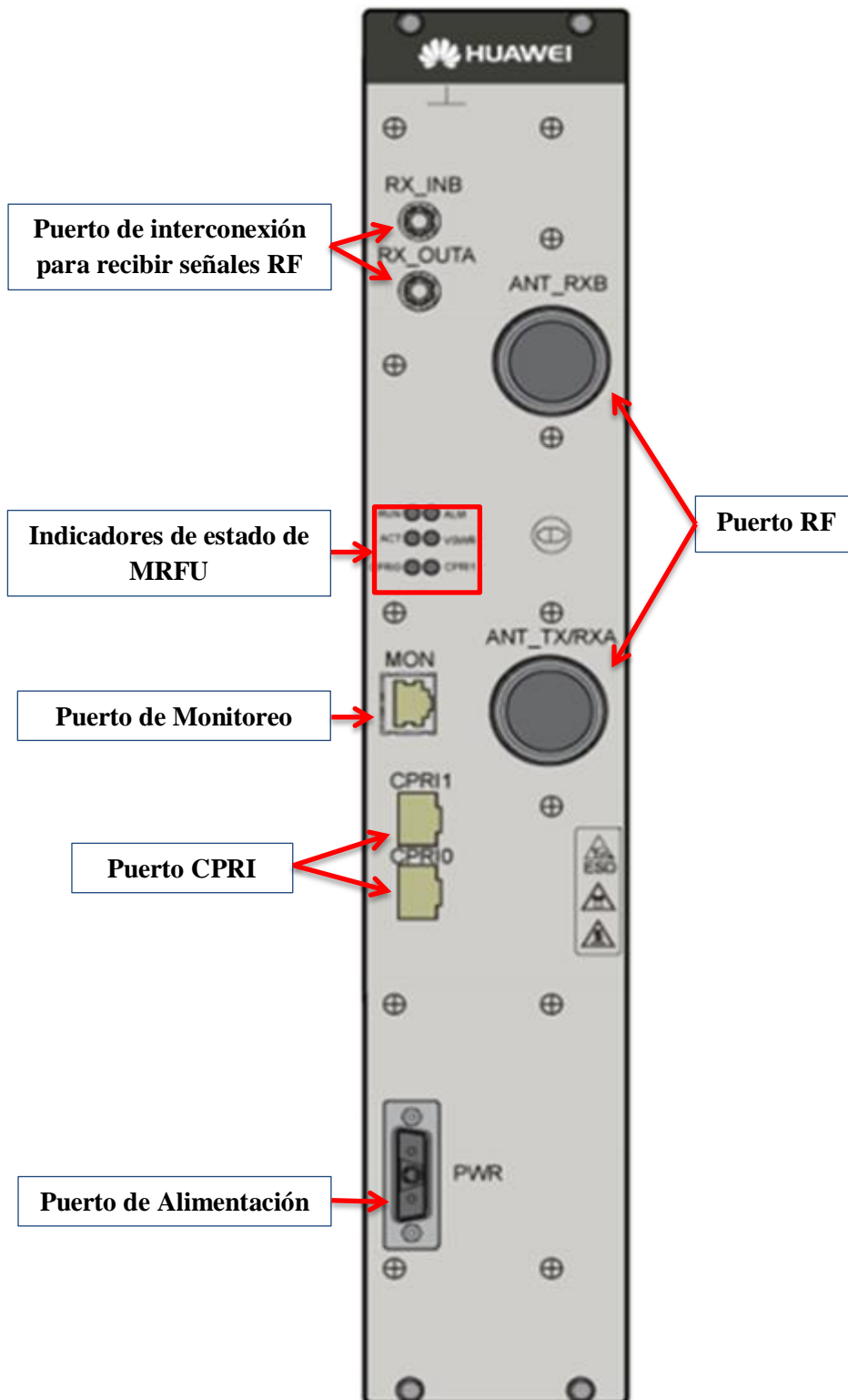


Figura 4.9. Estructura Física del MRFU V2 - Huawei.

Fuente: Huawei BTS3900 Datasheet⁶¹.

⁶¹ Huawei Technologies. BTS3900 V100R008C00. Hardware Description. Pág. 21.

Tabla 4.3. Descripción de los puertos del MRFU.

ANT_TX/RXA, ANT_RXB	Conecta Al sistema de la antena para transmisión/recepción de Señal.
CPRI0, CPRI1	Conecta al BBU.
RX_INB, RX_OUTA	Recibe la señal de la Antena.
PWR	Alimentación: -48 Vdc.
MON	Monitoreo.

Fuente: Huawei BTS3900 Datasheet⁶².

Asimismo, se presenta la estructura lógica del MRFU en la siguiente figura:

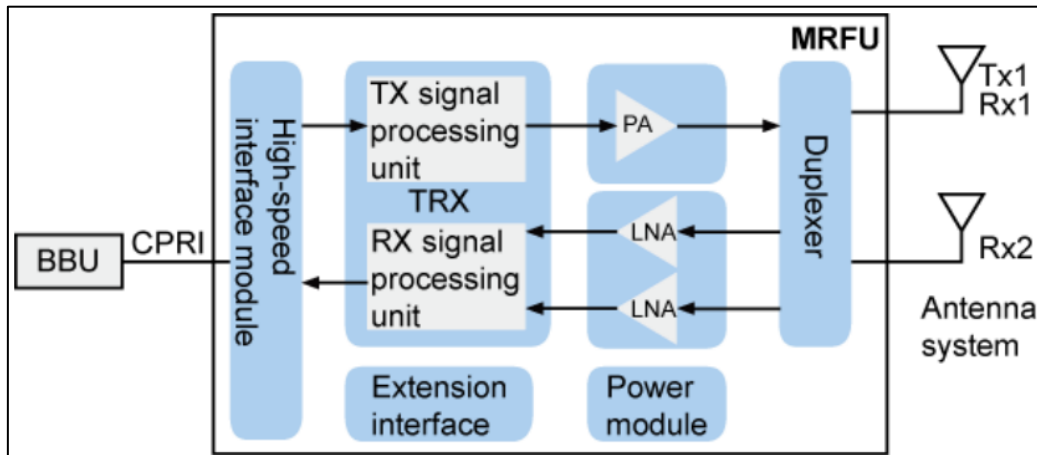


Figura 4.10. Estructura Lógica del MRFU.

Fuente: Huawei Technologies⁶³.

Por consiguiente se presenta la información técnica relevante del equipo MRFU para GSM-850 a continuación:

Tabla 4.4. Características Técnicas del MRFU V2 – Marca Huawei.

Tipo	Canales de Transmisión y Recepción	Capacidad	Sensibilidad de Receptor (dBm)			Potencia de Salida
			Con 1 Antena	Con 2 Antenas	Con 4 Antenas	
MRFU V2	1T / 2R	GSM: 6TRx	GSM-850: -113	GSM-850: -115.8	GSM-850: -118.5	1 x 60 W, 2 x 40 W, 3 x 27 W, 4 x 20 W, 5 x 16 W, 6 x 12 W.

Fuente: Huawei Technologies⁶⁴.

⁶² Huawei Technologies. BTS3900 V100R008C00. Hardware Description. Pág. 21.

⁶³ Huawei Technologies. BTS3900 V100R008C00. Hardware Description. Pág. 19.

⁶⁴ Huawei Technologies co., LTD. Node B V200R013. Technical Description. Pág. 87-88.

▪ **Base Band Unit (BBU) – Huawei Technologies co. LTD**

La Unidad de Banda Base administra todo el sistema de la BTS, incluyendo el Uplink y Downlink de los datos, además de disponer de la interacción entre la BTS y la BSC. Dentro de la estructura lógica del sistema se encuentran los siguientes módulos:

- La unidad de control de Transmisión principal.
- La unidad de monitoreo del sistema.
- El subsistema de reloj, el cual consiste en el procesamiento de señal del reloj.
- El subsistema de banda base.
- El subsistema de transporte.

A continuación, se muestra la estructura lógica del BBU de Huawei:

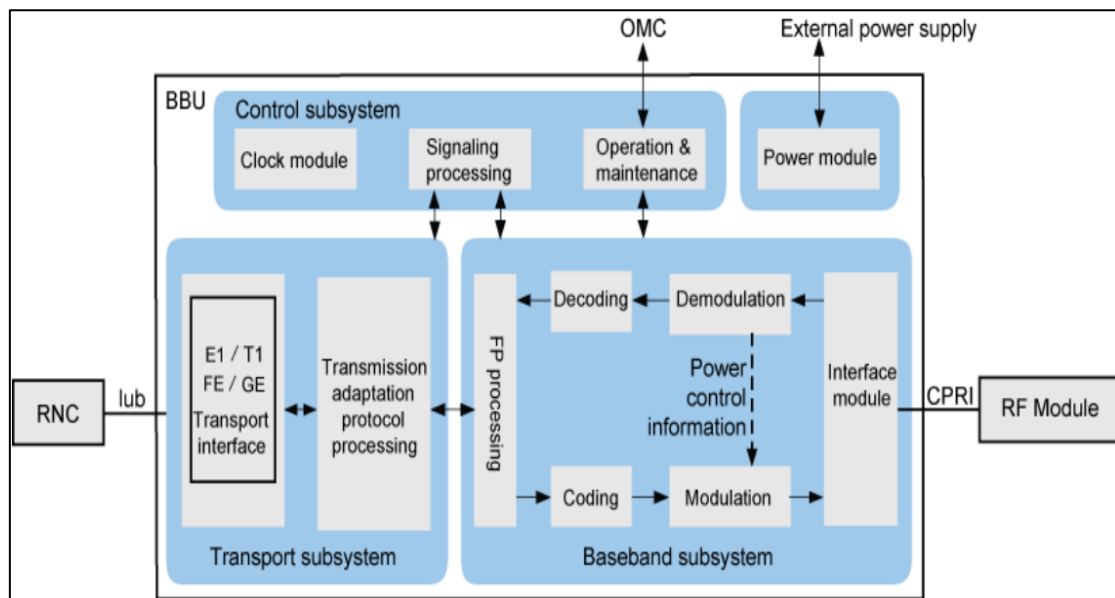


Figura 4.11. Estructura Lógica del BBU3900 - Huawei.

Fuente: Huawei Technologies BTS 3900⁶⁵.

⁶⁵ Huawei Technologies. Node B V200R013. Hardware Description. Pág. 14.

Asimismo, se muestra la estructura física del BBU3900 marca Huawei:

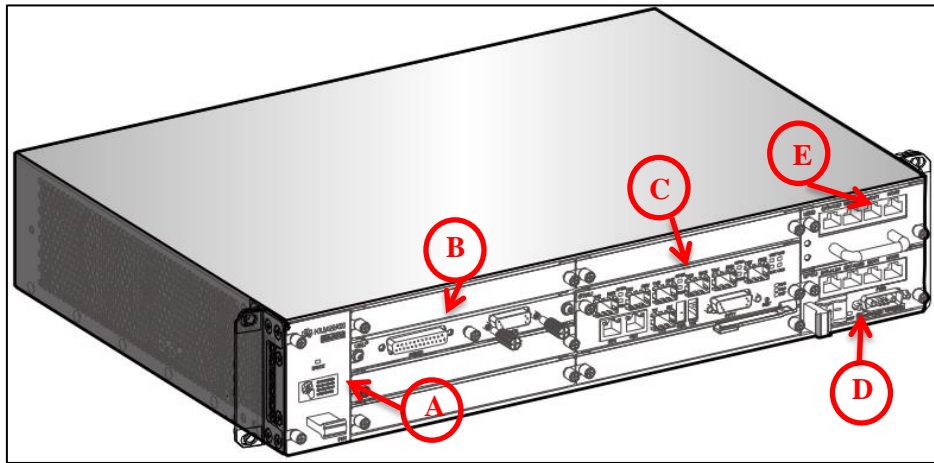


Figura 4.12. Estructura Física del BBU3900.

Fuente: Huawei Technologies⁶⁶.

Las letras que aparecen en la Figura 4.12 nos indica los cinco módulos que posee una BBU para la instalación de un Site. Estos módulos son:

A. UBFA (Universal BBU Fan Unit Type A): Sus funciones son controlar los niveles de velocidad del ventilador y detectar la temperatura en todo el BBU.

B. UELP (Universal E1/T1 Lightning Protection) : Da protección a 4 E1 o T1 dependiendo de la configuración que se le dé al BBU.

C. GTMU (GSM Transmission, Timing and Management Unit)

- Controla, mantiene y opera la BTS.
- Distribuye y administra las señales de reloj de la BTS.
- Proporciona el puerto Ethernet para el terminal de mantenimiento.
- Posee 4 puertos CPRI para la comunicación con el MRFU.

D. UEIU (Universal Environment Interface Unit) : Se encarga de transmitir señales de monitoreo y de alarma desde dispositivos externos hacia la tarjeta de control principal. Posee 4 entradas, de las cuales todas utilizan conectores RJ45 para la transmisión de información.

⁶⁶ Huawei Technologies. BBU3900. Pág. 2-2.

E. UPEU (Universal Power and Environment Interface Unit) : Convierte el voltaje eléctrico de -48 Vdc (UPEA) o +24 Vdc (UPEB) a +12 Vdc.

▪ **Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM**

La estructura física de la antena Andrew DBXLH-6565C-VTM se muestra a continuación en la siguiente figura:



Figura 4.13. Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM.

Fuente: Andrew Commscope⁶⁷.

Donde, los conectores DIN que se encuentran señalados por color rojo pertenecen al rango de frecuencias de 824 - 960 MHz y los conectores DIN señalados con color azul pertenecen al rango de frecuencias de 1710 - 2180 MHz.

Se escogió la antena Andrew debido al tipo de antena presentado para la propuesta de instalación de una BTS. Este tipo de antena presenta las siguientes características técnicas:

⁶⁷ Andrew Commscope DBXLH-6565C-VTM. Pág. 1.

Tabla 4.5. Características Técnicas de Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM

Tipo Antena	Ancho de Apertura de Haz		Front to Back	Polarización
Doble banda	Hor = 68°	Ver = 7.8°	26 dB	± 45°
Potencia Entrada por Puerto	Impedancia		Frecuencia	Ganancia
350 W	50 ohm		824 – 960 MHz	16.8 dBi

Fuente: Andrew Commscope DBXLH-6565C-VTM.

▪ **Interacción entre BBU y MRFU**

Para que una BTS funcione apropiadamente, se tienen que seguir el siguiente procedimiento, tal y como se presenta en la siguiente figura:

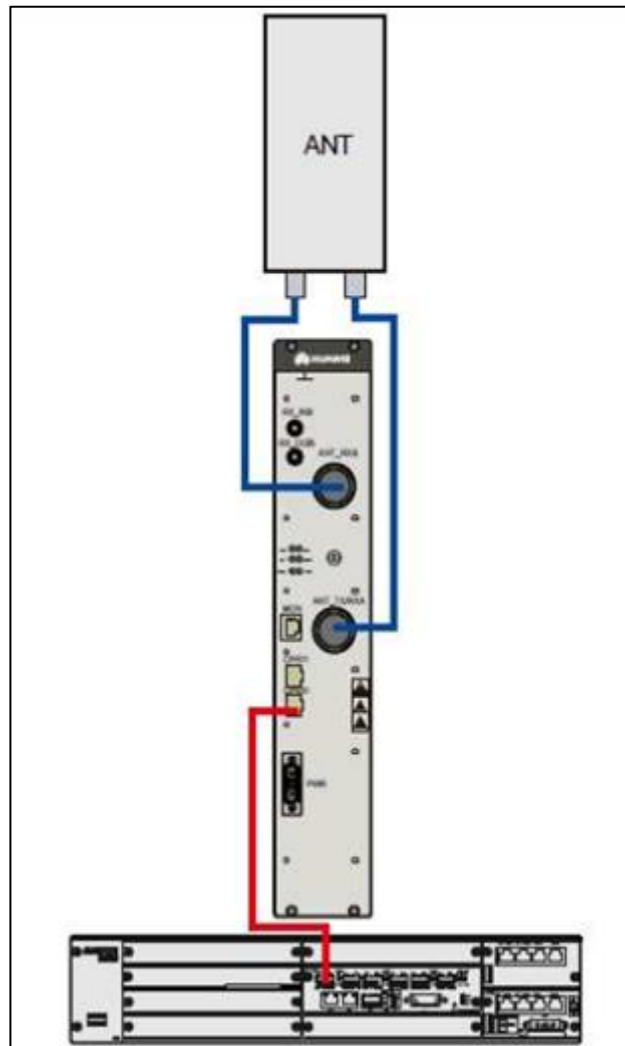


Figura 4.14. Diagrama de la Configuración y Cableado de una BTS.

Fuente: Huawei Technologies BTS 3900 Family.

Donde:

- La línea de color rojo representa la conexión entre el puerto CPRI 0 del módulo GTMU de la BBU hacia el CPRI 0 de MRFU por medio de fibra óptica.
- La línea de color azul representa la conexión entre los puertos RF del MRFU hacia los puertos RF de la antena por medio de cable coaxial.

Normalmente, la configuración de instalación de una BTS se emplea en forma de gabinetes, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.15. Imagen de la BTS3900-Huawei.

Fuente: <http://imgusr.tradekey.com/p-7728294-20130409073420/huawei-bts3900.jpg>

4.5. Cobertura Sites Aledaños a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo

Como se mencionó en el Apartado 4.3, existen cuatro Sites del operador Claro que su cobertura alcanza parte de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. No obstante, debido a que la población universitaria aumenta en cada ciclo académico, genera una gran demanda de tráfico para utilizar el servicio de telefonía móvil.

Por consiguiente, las Estaciones Base no pueden cubrir totalmente con la capacidad de usuarios móviles existentes en determinadas zonas de la universidad debido al poco alcance que tienen cada uno de estos Sites, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.16. Cobertura de Sites ubicados cerca de la UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia⁶⁸.

⁶⁸ Fotografía tomada el 02 de Noviembre del 2013.

Como se puede apreciar en la Figura 4.9, existe una parte cubierta de color blanco y delimitado con un contorno naranja, de la cual esa será la cobertura de la estación base que se instalará en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

No obstante, las cuatro estaciones base situadas aledañas a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo no cubren con la demanda de tráfico existente dentro de la zona donde se desarrolló la presente tesis.

Por lo que para cubrir con la capacidad de usuarios que alberga el Campus UPAO - Trujillo, primero se desarrolló el estudio de Radiaciones No Ionizantes para estimar los límites máximos permisibles de dichas radiaciones según normativa MTC, y posteriormente determinar si sería factible colocar una estación base (Site) dentro de las instalaciones de la universidad.

4.6. Posible Ubicación de Estación BTS GSM 850 MHz

Para proponer una ubicación del Site en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, de tal manera que beneficie a la población orreguiana, se tuvo dos propuestas:

a. Referencia Pabellón D

Se toma como referencia al Pabellón D debido a dos razones:

- Está ubicado en una zona donde se puede irradiar de cobertura a la mayor parte del Campus universitario.
- El último piso de este pabellón cuenta con laboratorios especializados que pertenecen a las Escuelas Profesionales de Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Telecomunicaciones, con lo cual el instalar una BTS generaría a su vez un plus desde el punto de vista del aprendizaje de una estación celular. Para mayor detalle, se muestra la siguiente figura:



Figura 4.17. Pabellón D de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia⁶⁹.

⁶⁹ Fotografía tomada el 26 de Octubre del 2013.

Desventaja:

No obstante, existe un pabellón donde la ubicación de la BTS irradiaría directamente hacia el mismo, debido a la poca altura que posee el pabellón D del Campus UPAO Trujillo. Si en todo caso se instalara una Estación Base en el pabellón D, existiría el riesgo que las Radiaciones No Ionizantes irradiaran y afectarían directamente a la población que radica en el pabellón G, además del impacto visual que dicha estación base generaría, tal y como se muestra en la Figura 4.18:



Figura 4.18. Desventaja de instalación de Site en el Pabellón D - UPAO.

Fuente: Elaboración Propia⁷⁰.

b. Referencia Pabellón G

- La ubicación del Site UPAO a instalar estaría en una zona donde la capacidad de usuarios de telefonía móvil se encuentra limitada, lo cual ocasiona la caída de llamadas y llamadas en espera.
- La ubicación del Site estaría respaldada por uno de los laboratorios de teleinformática existentes en dicho pabellón, lo cual generaría el poder tener un

⁷⁰ Fotografía tomada el 26 de Octubre del 2013.

aporte para el aprendizaje dentro de las carreras profesionales de telecomunicaciones y otras relacionadas.

- Habría una mayor capacidad de usuarios dentro del Campus UPAO para la emisión y recepción de llamadas y mensajería de texto. Para un mayor entendimiento para la instalación de un Site Claro en la universidad se muestra la siguiente figura:



Figura 4.19. Pabellón G de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia⁷¹.

La propuesta que se plantea en la presente tesis es la instalación de un Site en el último piso del pabellón G de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, debido a que en esa parte de la universidad se puede cubrir con la demanda actual de usuarios de telefonía celular y también para evitar riesgos por las Radiaciones No Ionizantes ya que en un futuro habrán 2 nuevos pabellones (Torre de Informática - Administración General y Torre de Postgrado - Centro de Idiomas) junto con el Auditorio Central, los cuales tendrán más altura cada uno de ellos.

⁷¹ Fotografía tomada el 26 de Octubre del 2013.



Figura 4.20. Site BTS GSM 850 MHz en Pabellón G UPAO - Trujillo.

Fuente: Trujillo Proyectos⁷².

Como se puede apreciar en la Figura 4.20, la BTS propuesta se encontraría ubicada en el 10^{mo} piso del pabellón G. Se plantea la instalación de la estación celular en este pabellón debido a la accesibilidad de los componentes que conforman la BTS para alumnos de la facultad de ingeniería (sistemas, informática, telecomunicaciones, electrónica, etc.), además de la forma en que serán distribuidos sus sectores. Las coordenadas geográficas de la BTS son:

- Latitud : 8° 7' 41.74" S.
- Longitud : 79° 1' 59.16" O.

El radio promedio de cobertura que se obtendría de las antenas Andrew y del servicio de telefonía móvil Claro Perú S.A.C. oscila aproximadamente 500 metros. La distancia que se obtiene en la cobertura del servicio celular GSM se debe a la frecuencia de operación con que se va a hacer funcionar el Site en el Campus UPAO y a la capacidad de usuarios que utilizarán este servicio.

⁷² Trujillo Proyectos. Universidad Privada Antenor Orrego para el Año 2015. Recuperado el 21 de Octubre de 2013 de:
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=166766470092965&set=a.131468970289382.16508.129594787143467&type=3&theater>

4.7. Definición de Posibles Azimuts

Se entiende por “Azimut” como el ángulo de medida tomando como punto de referencia al norte y en sentido horario⁷³. En la presente tesis, se configuró los azimuts de los tres sectores con la herramienta Radio Mobile para la instalación del Site BTS GSM-850 en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Tal y Como se muestra en la siguiente figura:

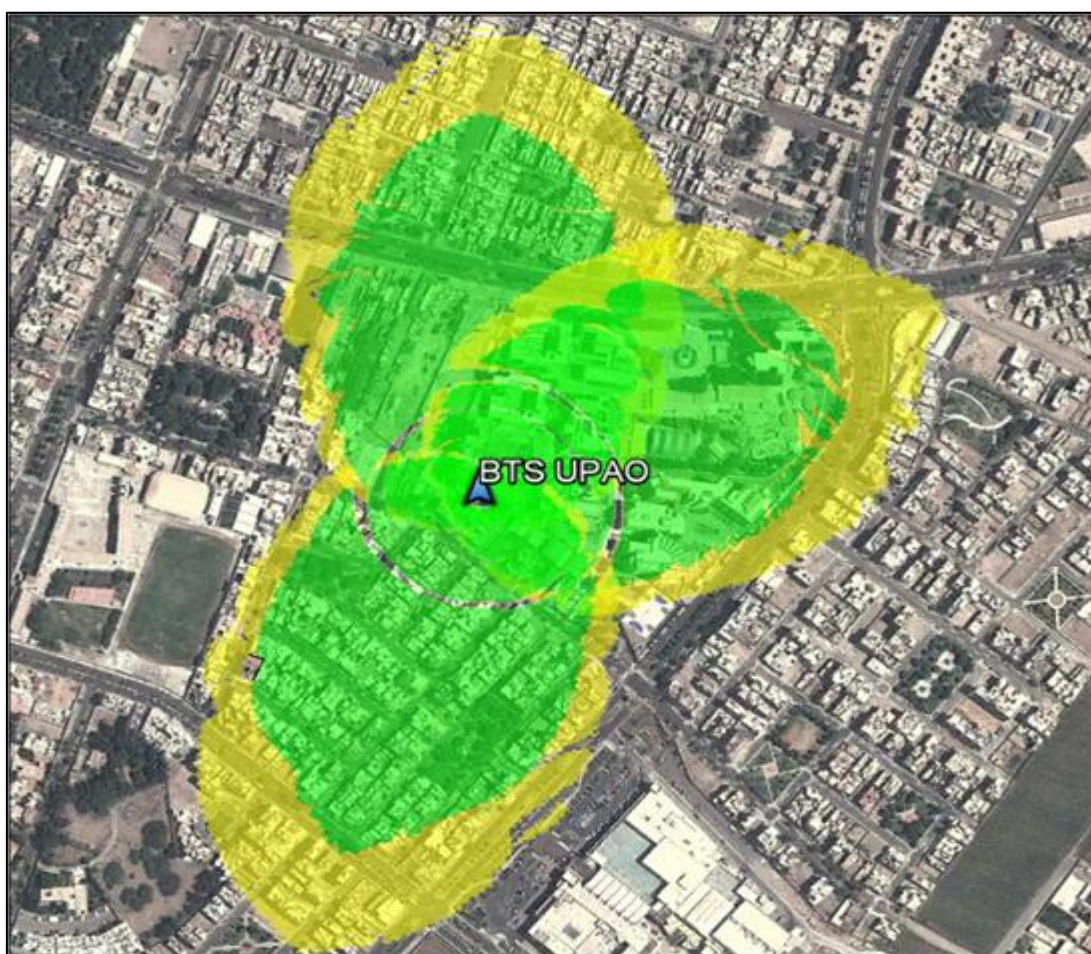


Figura 4.21. Cobertura estimada para servicio GSM Claro en UPAO - Trujillo.

Fuente: Google Earth.

La figura 4.11 muestra un aproximado de la cobertura estimada del Site que se propone instalar en el Pabellón G de la universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Se propone tener tres sectores dentro del Campus universitario, de los cuales se hablará de ellos a continuación:

⁷³ UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES. Departamento de Ciencia y Tecnología. *Teoría de las Telecomunicaciones*. Buenos Aires, Argentina. Pág. 22.

- **Sector 1**

Este sector posee un ángulo Azimut de 0° , ángulo Downtilt de 5° y cubrirá solamente los pabellones C, D, E, F, G y H de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, debido a que en los pabellones G y H existen una gran cantidad de estudiantes universitarios que solicitan el servicio de telefonía móvil y en éstos pabellones se encuentran una limitación de la capacidad de usuarios por los operadores Claro y Movistar.



Figura 4.22. Sector 1 de Site BTS UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Sector 2**

El Sector 2 comprende la mayor parte de cobertura a cubrir en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Cubre principalmente las zonas de los pabellones: I, J, K, L y para un futuro cubrirá con la Torre de Informática - Administración General y la Torre de Postgrado - Centro de Idiomas. Este sector posee un ángulo de azimut de 65° y un ángulo Downtilt de 0° .



Figura 4.23. Sector 2 de Site BTS UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Sector 3**

El Sector 3 es opcional, debido a que solamente abarcaría una pequeña parte del pabellón I. Asimismo este sector daría con la parte posterior de las instalaciones de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Este sector tiene un ángulo de azimut de 200° y un ángulo Downtilt de 0° .



Figura 4.24. Sector 3 de Site BTS UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

4.8. Parámetros de Radiación del Site UPAO

Los parámetros de radiación para el Site de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo dependen directamente del patrón de radiación de las antenas. Para ello se tuvo en consideración los siguientes parámetros:

- Marca de Antena : Andrew.
- Modelo de Antena : DBXLH-6565C-VTM.
- Banda de Frecuencia : 824-896 MHz.
- Tipo de Polarización : $\pm 45^\circ$.

Las siguientes figuras muestran los patrones de radiación horizontal y vertical de la antena que se utilizará en los cálculos de las Radiaciones No Ionizantes, a manera de cumplir con los Límites Máximos Permisibles otorgados por la Normativa MTC:

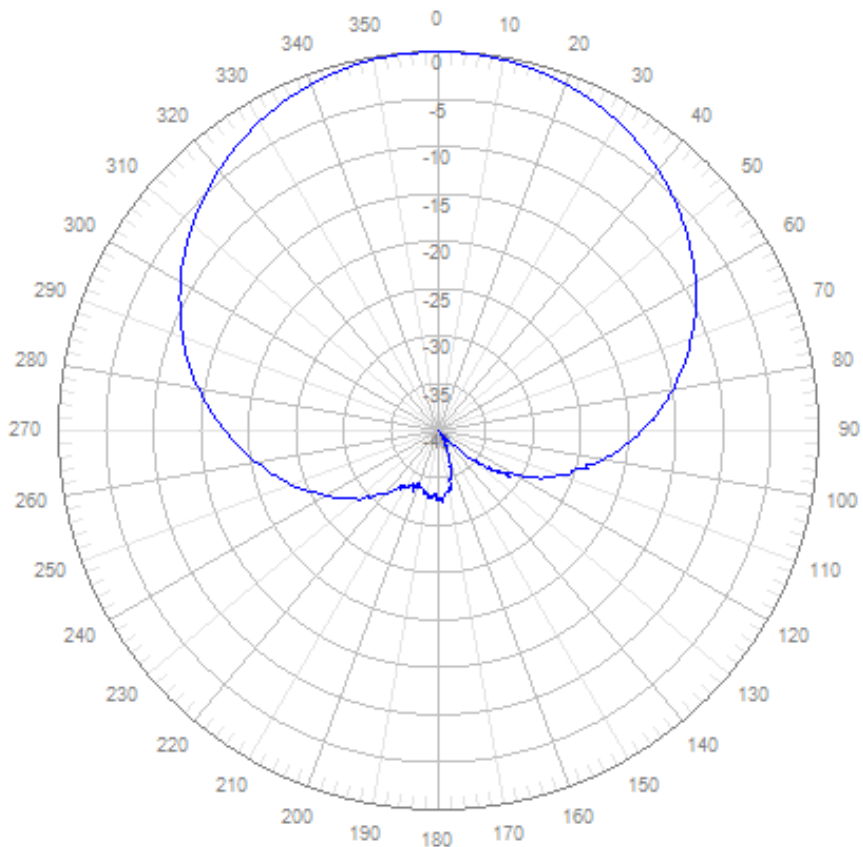


Figura 4.25. Patrón de Radiación Horizontal de antena Andrew.

Fuente: <http://www.commscope.com/BSAPatternsWeb/ViewPatterns.aspx?model=DBXLH-6565C-VTM>.

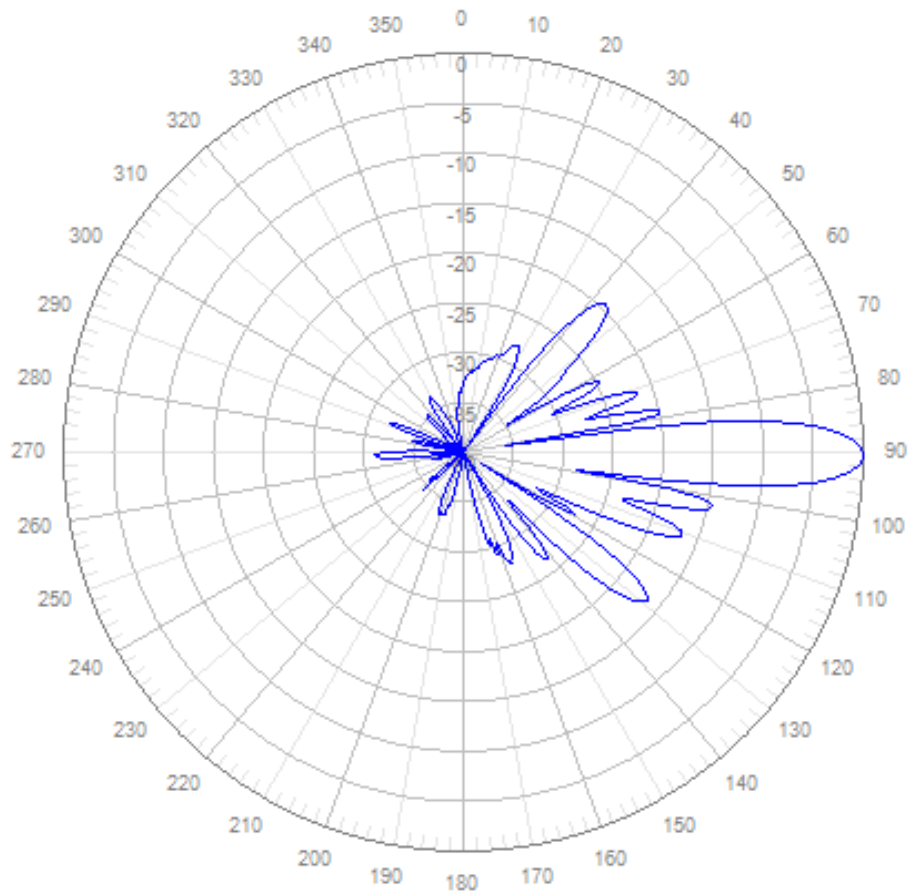


Figura 4.26. Patrón de Radiación Vertical de antena Andrew.

Fuente: <http://www.commscope.com/BSAPatternsWeb/ViewPatterns.aspx?model=DBXLH-6565C-VTM>.

4.9. Estimación de Niveles de Exposición GSM 850 MHz en el Campus UPAO - Trujillo

Para estimar y evaluar los Niveles de Exposición de Radiaciones No Ionizantes se obtuvo los datos técnicos de los equipos necesarios para la instalación de un Site dentro de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y se estableció los parámetros necesarios tales como definir los azimuth de las antenas, se procedió a elaborar una herramienta de cálculo en hojas Excel para el análisis de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para la banda GSM 850 MHz.

Para la herramienta de cálculo se tomó en cuenta los parámetros que se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla 4.6. Datos Técnicos de Operador de Telefonía Celular.

OPERADORA TELEFONÍA CELULAR	PARÁMETROS			Unidades
Operador de Servicio Celular	Claro Perú S.A.C.			-
Banda Celular		B1		
Frecuencia Uplink	846.5	-	847.75	MHz
Frecuencia Downlink	891.5	-	892.75	MHz
Frecuencia Central (fc) Downlink		892.1		MHz

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.7. Datos Técnicos de Site BTS.

ESTACIÓN BASE	PARÁMETROS	Unidades
Marca	Huawei	-
Modelo	BTS 3900	-
Tipo de Emisión	GSM	-
Tipo de Modulación	GMSK	-
N° TRX's	3	-
Potencia de TRx	40	dBm
POTENCIA TOTAL TRX's	44.77	dBm
	30.00	W

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.8. Dimensiones Físicas de Site BTS.

DIMENSIONES DE BTS	PARÁMETROS	Unidades
Altura del Edificio	35	m
Altura de Mástil	13	m
ALTURA TOTAL BTS (h)	48.00	m

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.9. Datos Técnicos de Antena de Telefonía Celular.

ANTENA	PARÁMETROS			Unidades
Tipo de Antena	Dual Band			-
Marca	ANDREW ®			-
Modelo	DBXLH-6565C-VTM			-
Ganancia	16.8			dBi
Polarización	± 45			°
Apertura Horizontal del Haz	68			°
Apertura Vertical del Haz	7.8			°
Eficiencia de Apertura de Antena (h)	0.68			-
Impedancia	50			ohm
Factor de Reflexión (ρ)	1			-
Frecuencia de Operación	824	-	960	MHz
PIRE	60.47			dBm
	1114.61			W

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.10. Dimensiones Físicas de Antena de Telefonía Celular.

DIMENSIONES DE ANTENA	PARÁMETROS	Unidades
Longitud de Antena	2.574	m
Ancho de Antena	0.269	m
Distancia de Antena (D)	2.59	m

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.11. Datos Técnicos Feeder para BTS.

FEEDER	PARÁMETROS	Unidades
Marca	Andrew ®	-
Modelo	F4A-DFDF-3M-P	-
Longitud	50	m
Coefficiente de Atenuación	0.022	dB/m
ATENUACIÓN	1.1	dB

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.12. Otras Variables a utilizar.

OTRAS VARIABLES	PARÁMETROS	Unidades
Altura Promedio de Usuario	2	m
Velocidad de la Luz (c)	3E+08	m/s
Longitud de Onda (l)	0.34	m

Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos obtenidos para el desarrollo de la herramienta de cálculo, se procedió a elaborar las herramientas de cálculo para los tres sectores.

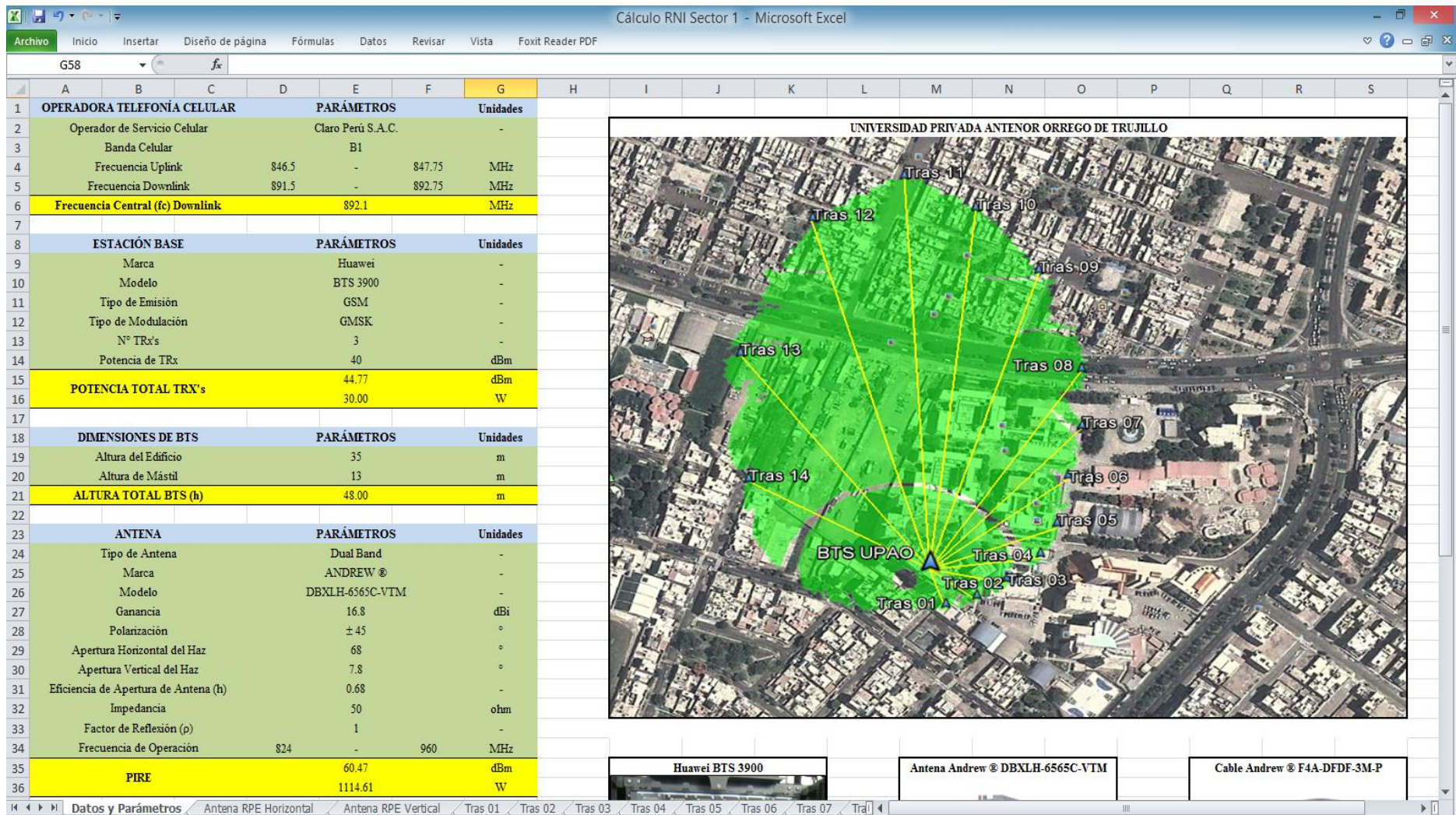


Figura 4.27. Herramienta de Cálculo de Radiaciones No Ionizantes.

Fuente: Elaboración Propia.

De la misma manera, para la obtención de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo se tomó en consideración las siguientes ecuaciones tomadas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

Límite de Antena a Campo Cercano Reactivo

$$R_{CCR} = \frac{0.25D^2}{\lambda} [m]$$

Límite de Antena a Campo Cercano Radiante

$$R_{CC} = \frac{0.6D^2}{\lambda} [m]$$

Densidad de Potencia en Campo Cercano Reactivo

$$S_{CCR} = \frac{16\eta P_t}{\pi D^2} [W/m^2]$$

Densidad de Potencia en Campo Cercano Radiante

$$S_t = \frac{S_{CCR}R_{CCR}}{R} [W/m^2]$$

Densidad de Potencia en Campo Lejano

$$S_{(r,\theta,\phi)} = (1 + \rho)^2 \frac{PIRE}{4\pi R^2} F_{(\theta,\phi)} [W/m^2]$$

Intensidad de Campo Eléctrico

$$E = \frac{(30PIRE)^{0.5}}{R} [V/m]$$

Intensidad de Campo Magnético

$$H = \frac{S_{(r,\theta,\phi)}}{E} [A/m]$$

Asimismo, las herramientas utilizadas para la elaboración de los cálculos de la presente tesis son: Google Earth y Microsoft Excel 2010. Se tomó en consideración 3 Sectores para el Estudio de Radiaciones No Ionizantes en el Campus UPAO – Trujillo, se obtuvieron los siguientes resultados:

A. SECTOR 1

Dentro de este sector, el estudio realizado presenta las siguientes características:

- Posee Ángulo Azimuth = 0° .
- Posee Ángulo Downtilt = 5° .
- Se basó en 14 trazos, denominado “Tras” más el número del trazo.

No obstante, se tomó en cuenta solo 6 de los 14 trazos para colocarlos en esta parte del desarrollo de la presente tesis; los demás trazos se encuentran ubicados en la sección Anexos, los cuales se presentarán las gráficas resultantes de Radiaciones No Ionizantes en cada uno de los sectores del Site a instalar en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

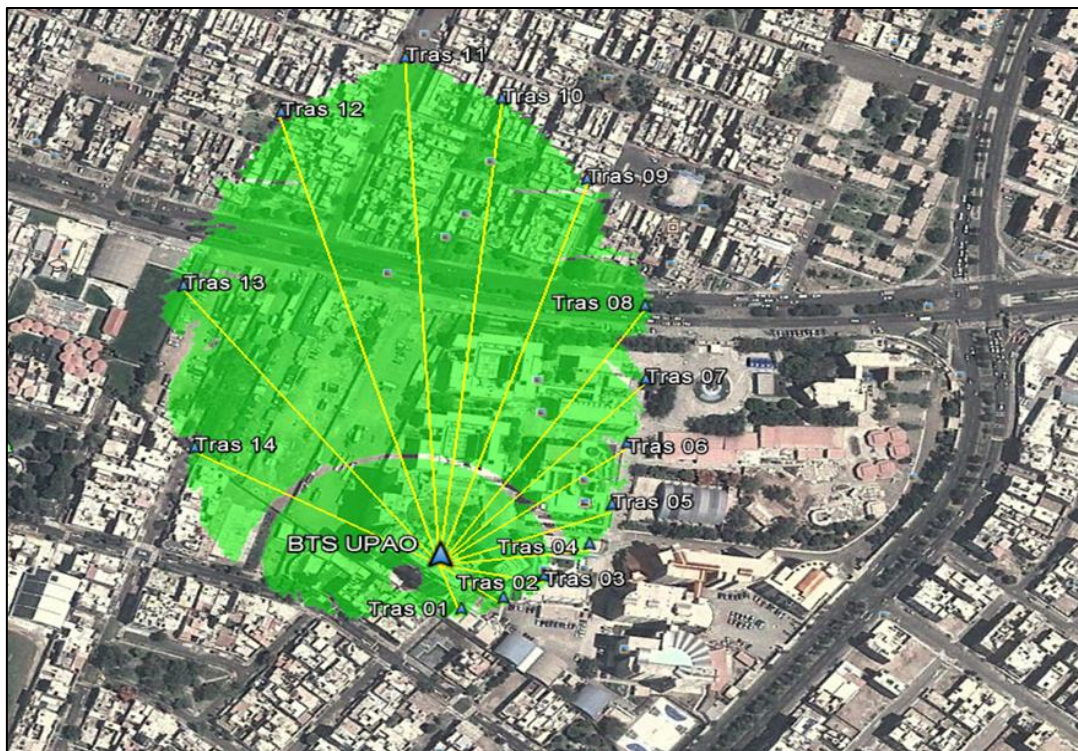


Figura 4.28. Estudio de Sector 1 de Site UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 01**

El “Tras 01” presenta un Ángulo Azimuth de 160°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

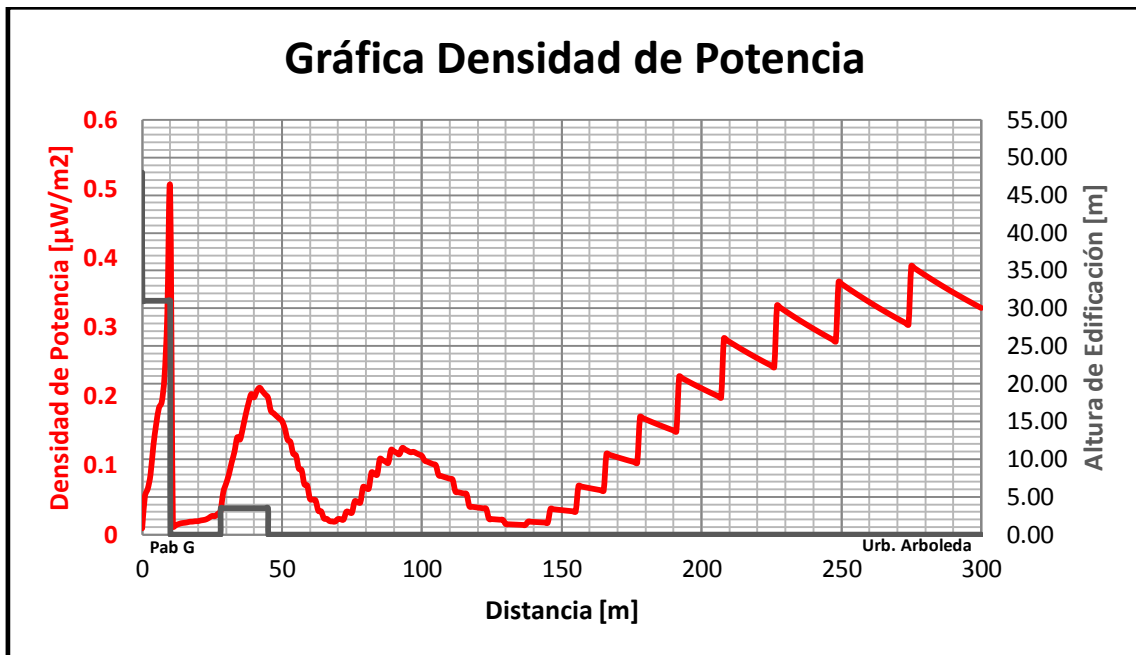


Figura 4.29. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 01 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

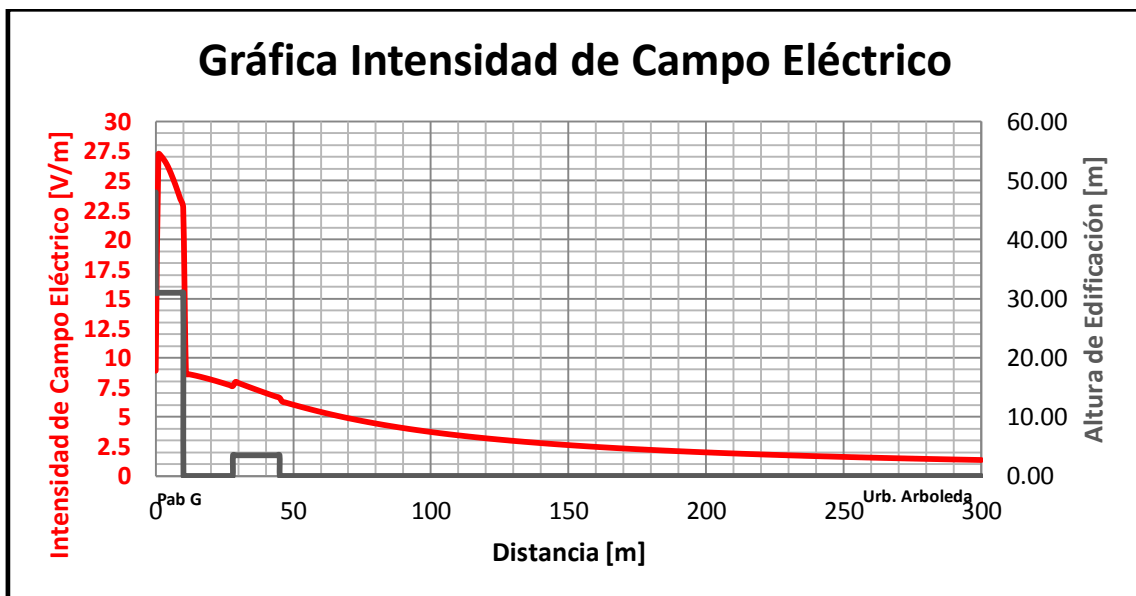


Figura 4.30. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 01 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 04**

El “Tras 04” presenta un Ángulo Azimuth de 82°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

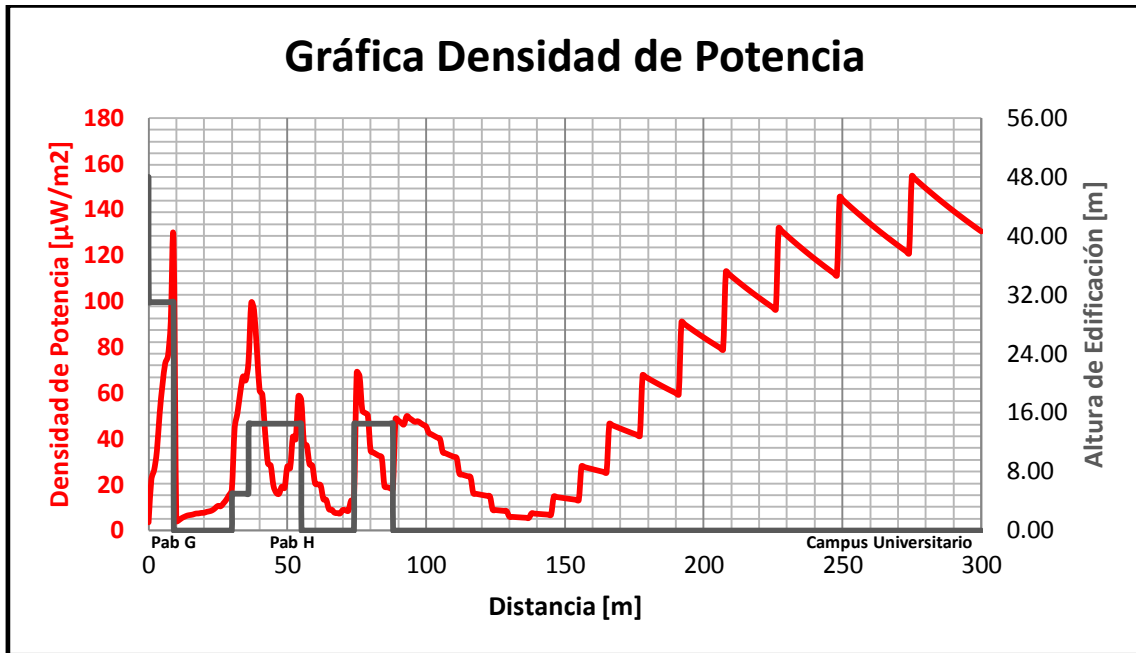


Figura 4.31. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 04 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

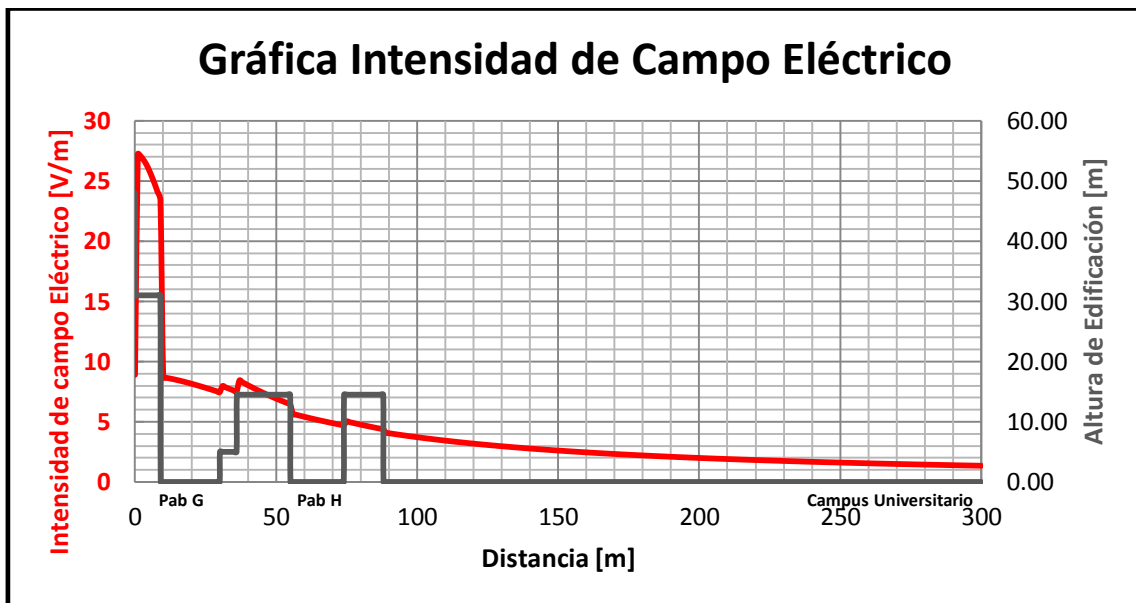


Figura 4.32. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 04 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 06**

El “Tras 06” presenta un Ángulo Azimuth de 53°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

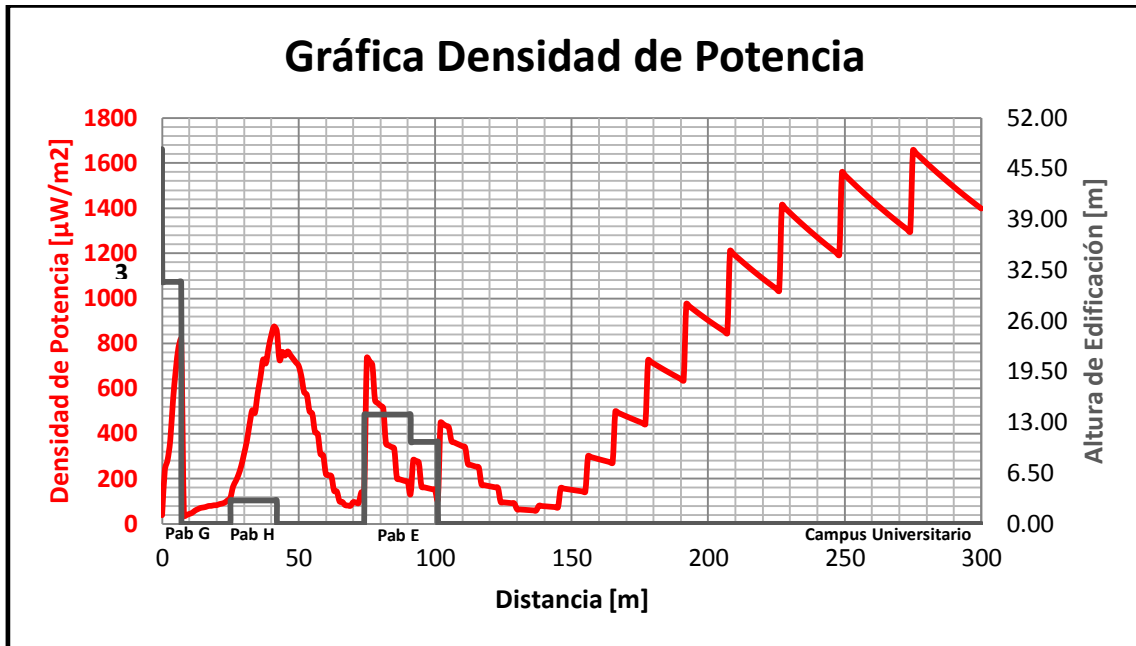


Figura 4.33. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 06 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

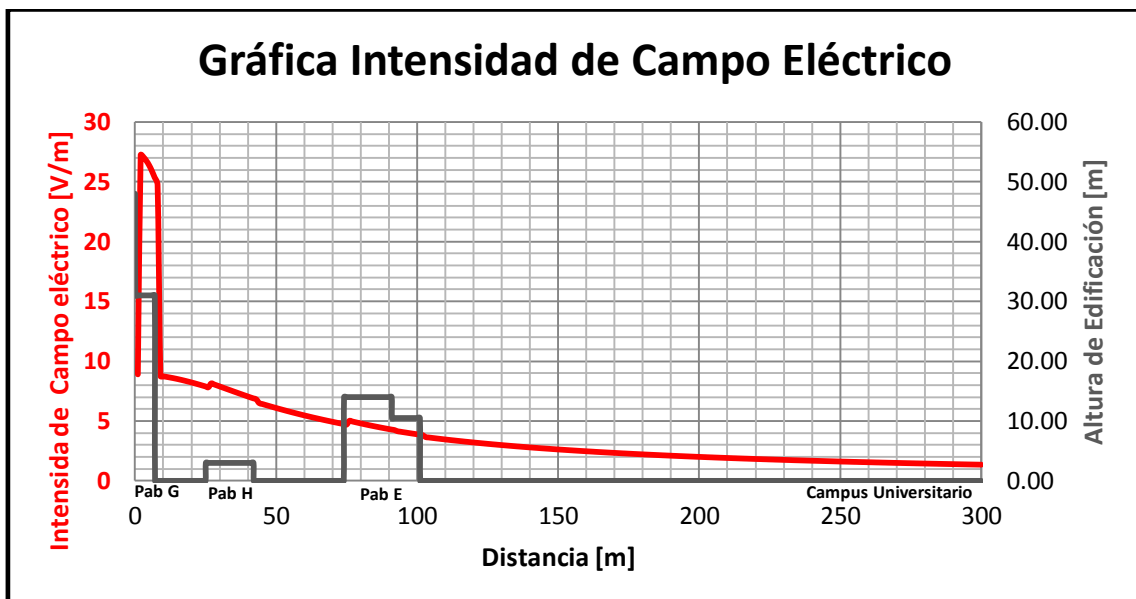


Figura 4.34. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 06 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 09**

El “Tras 09” presenta un Ángulo Azimuth de 28°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

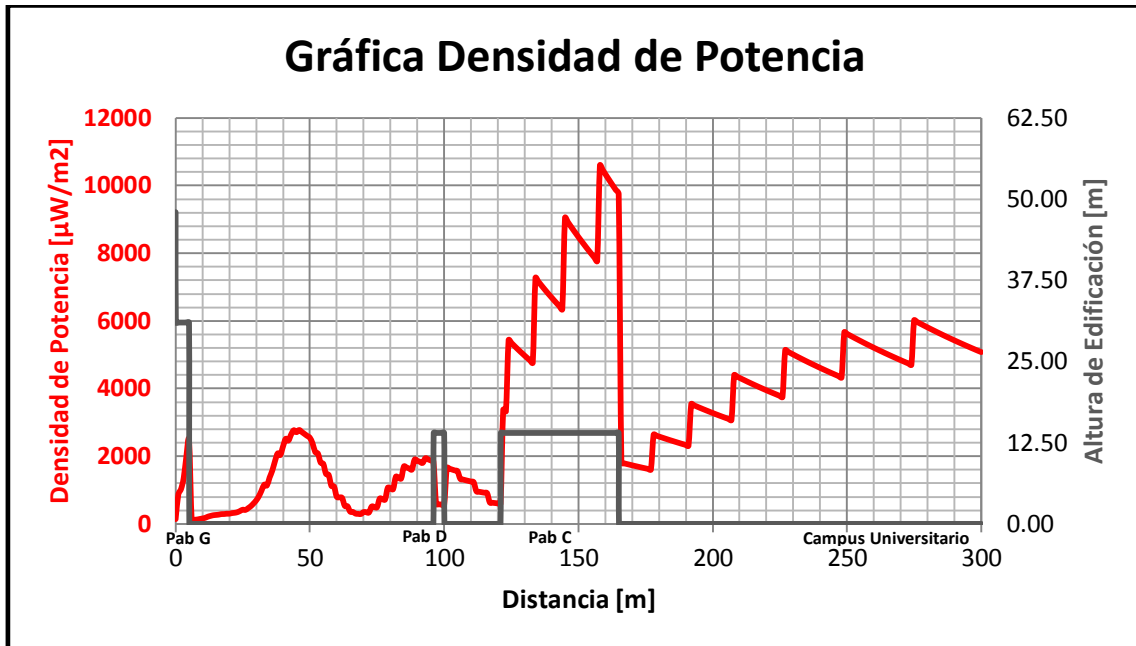


Figura 4.35. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 09 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

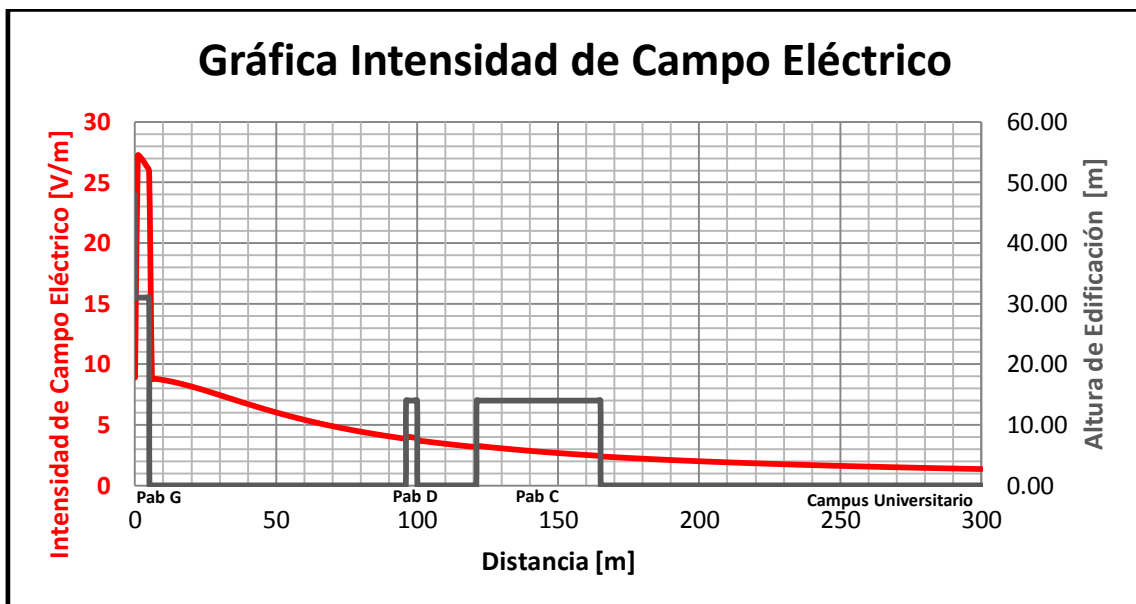


Figura 4.36. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 09 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 12**

El “Tras 12” presenta un Ángulo Azimuth de 354°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

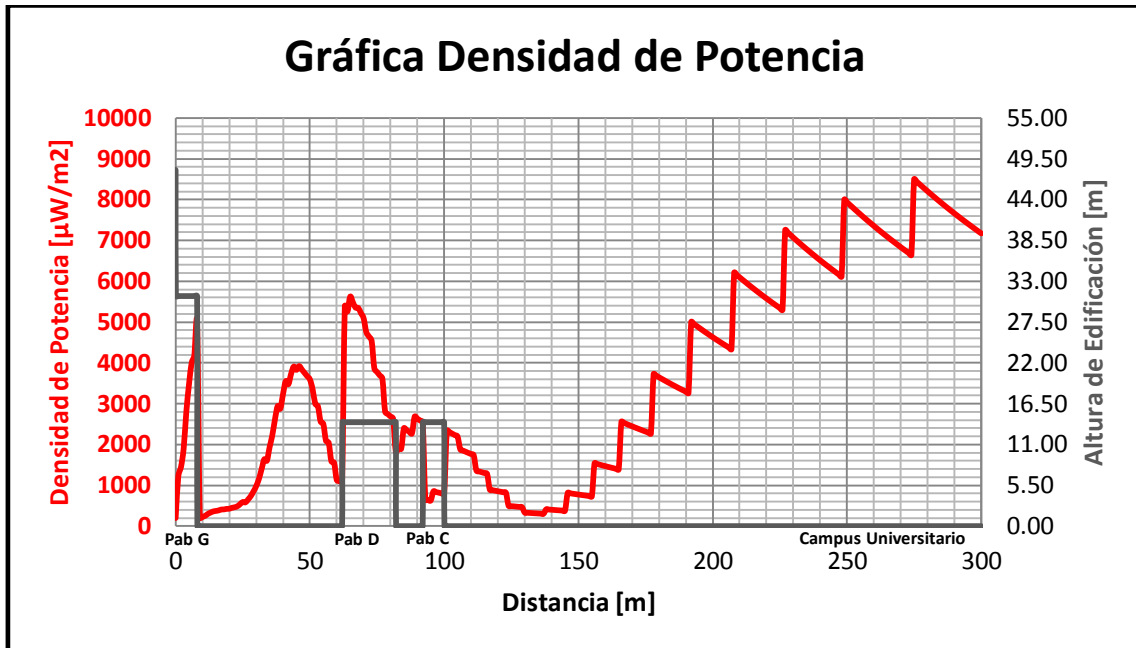


Figura 4.37. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 12 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

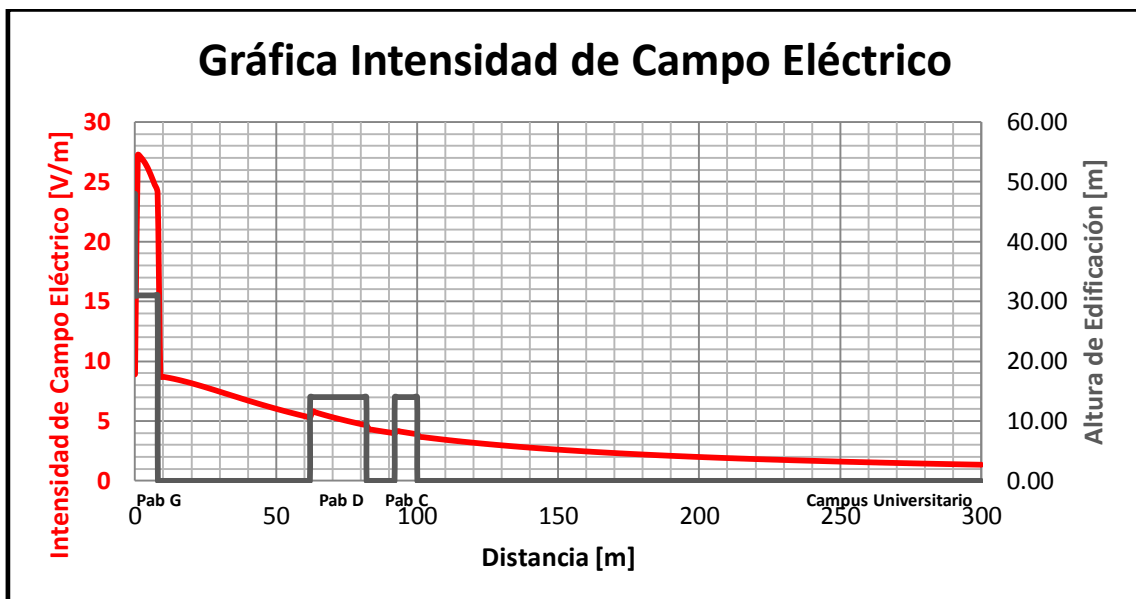


Figura 4.38. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 12 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Tras 14**

El “Tras 14” presenta un Ángulo Azimuth de 323°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de Densidad de Potencia e Intensidad de Campo Eléctrico en las siguientes figuras:

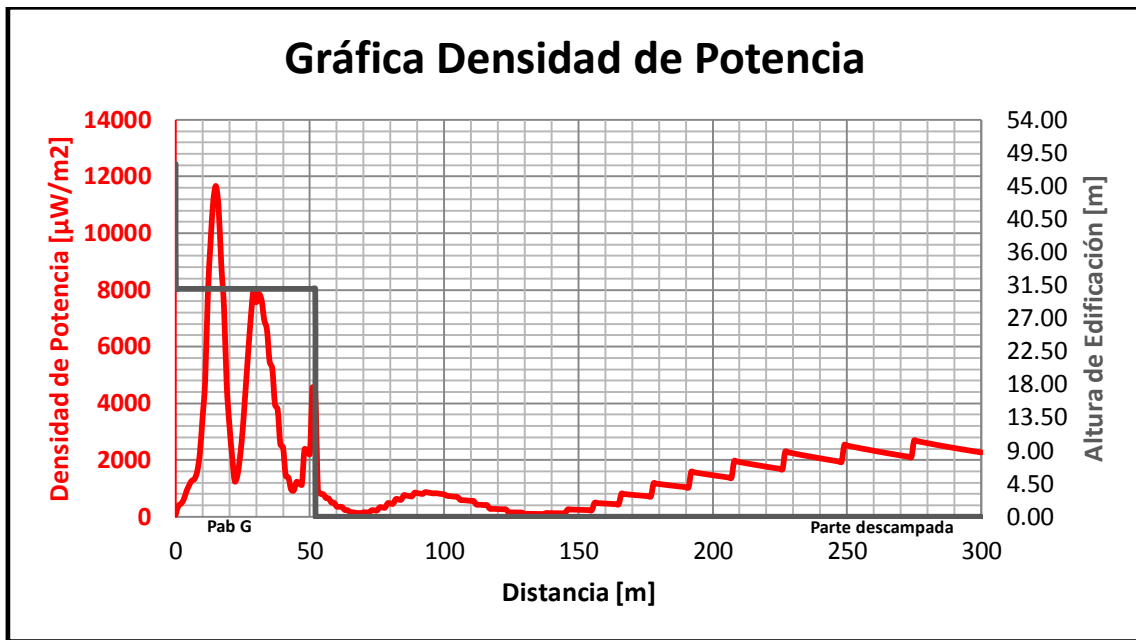


Figura 4.39. Gráfica Densidad de Potencia de Tras 14 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

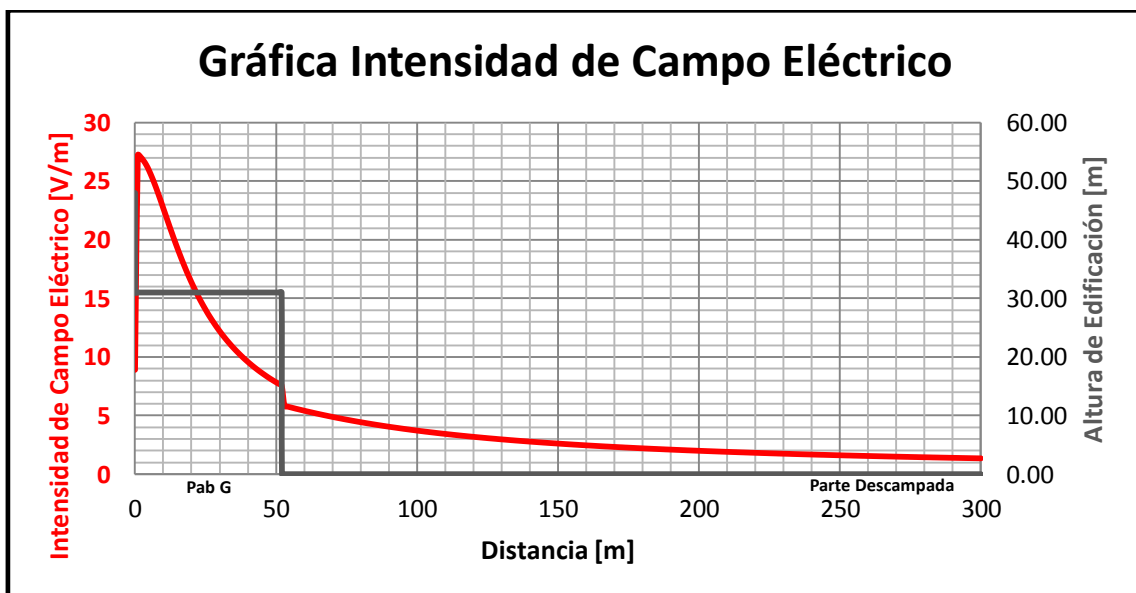


Figura 4.40. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Tras 14 - Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

B. SECTOR 2

Dentro de este sector, el estudio realizado presenta las siguientes características:

- Posee Ángulo Azimuth = 65° .
- Posee Ángulo Downtilt = 0° .
- Se basó en 24 trazos, denominado “Pos” más el número del trazo.

No obstante, se tomó en cuenta solo 6 de los 24 trazos para colocarlos en esta parte del desarrollo de la presente tesis; así como se presentó el Sector 1, los demás trazos se encuentran ubicados en la sección Anexos, los cuales se presentarán las gráficas resultantes de Radiaciones No Ionizantes en cada uno de los sectores del Site a instalar en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.



Figura 4.41. Estudio de Sector 2 de Site UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 07

El “Pos 07” presenta un Ángulo Azimuth de 346°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:



Figura 4.42. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 07 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

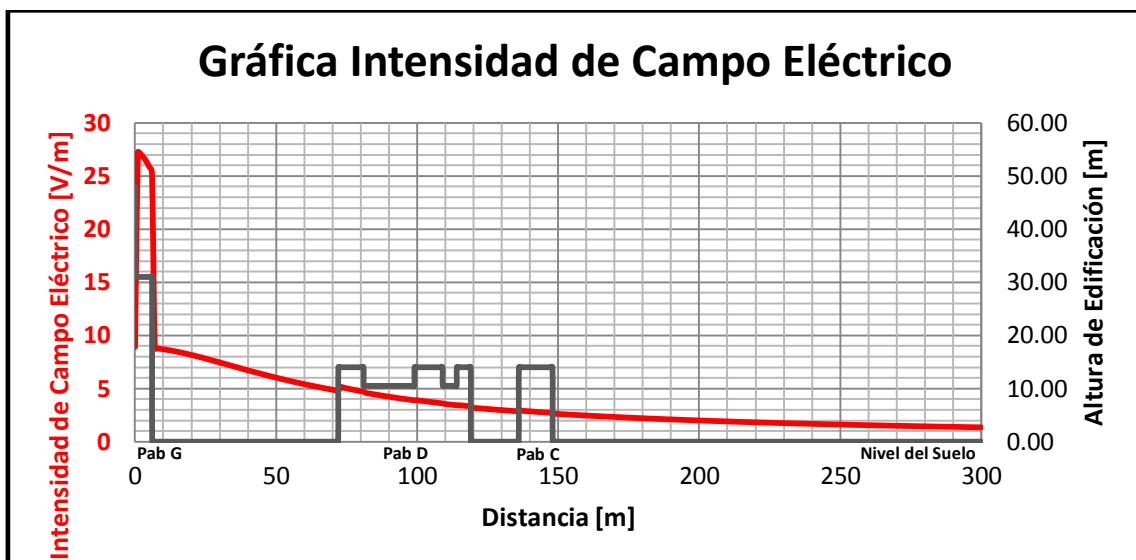


Figura 4.43. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 07 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Pos 11**

El “Pos 11” presenta un Ángulo Azimuth de 7°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

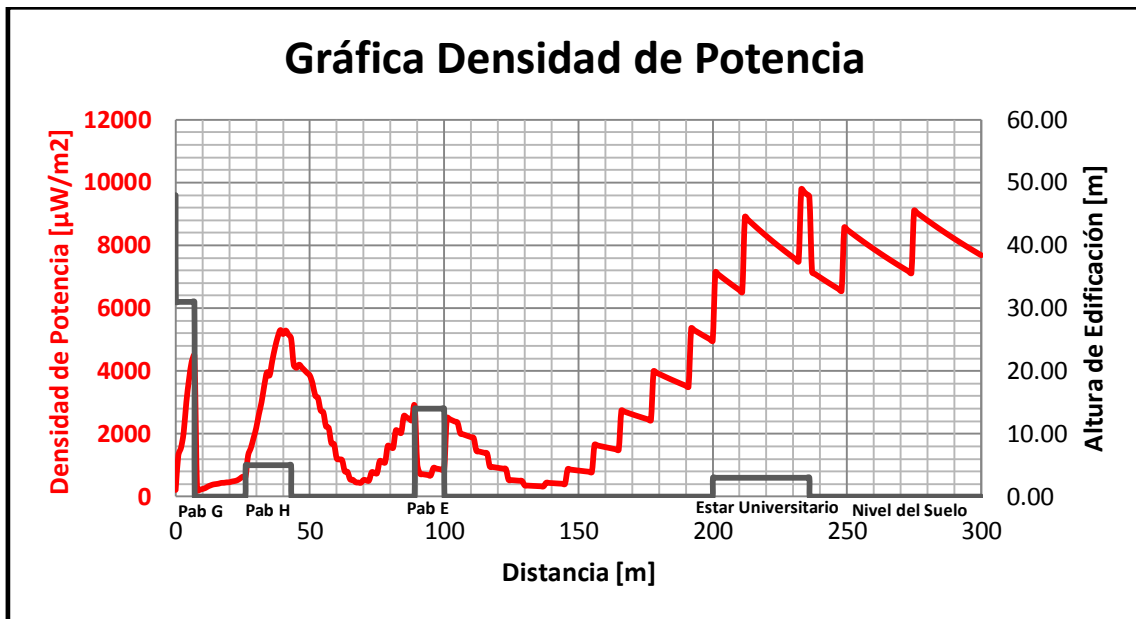


Figura 4.44. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 11 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

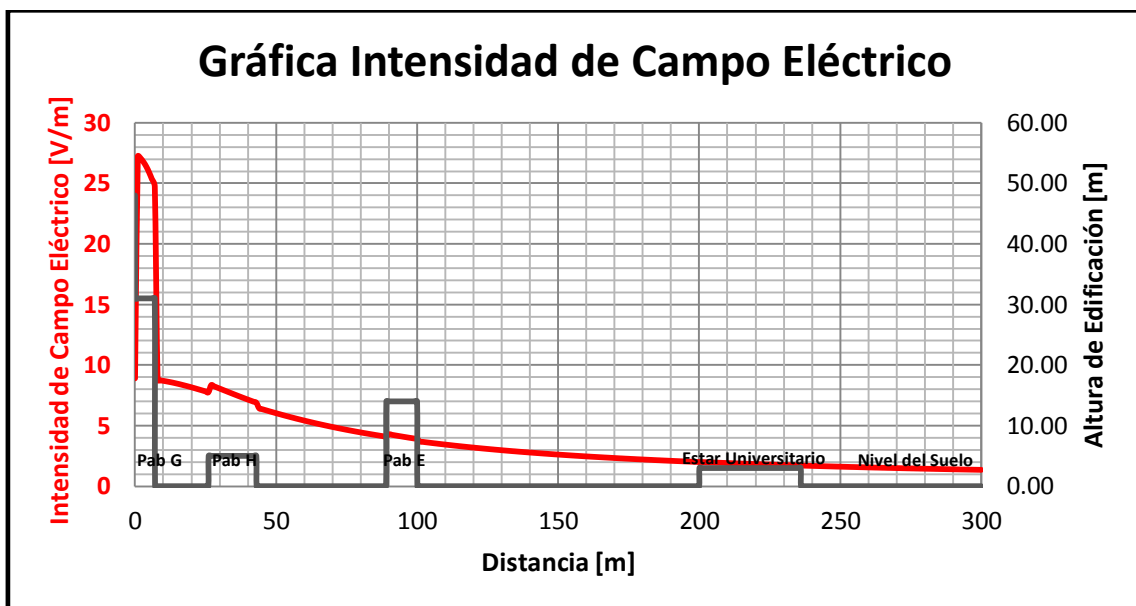


Figura 4.45. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 11 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 14

El “Pos 14” presenta un Ángulo Azimuth de 23°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

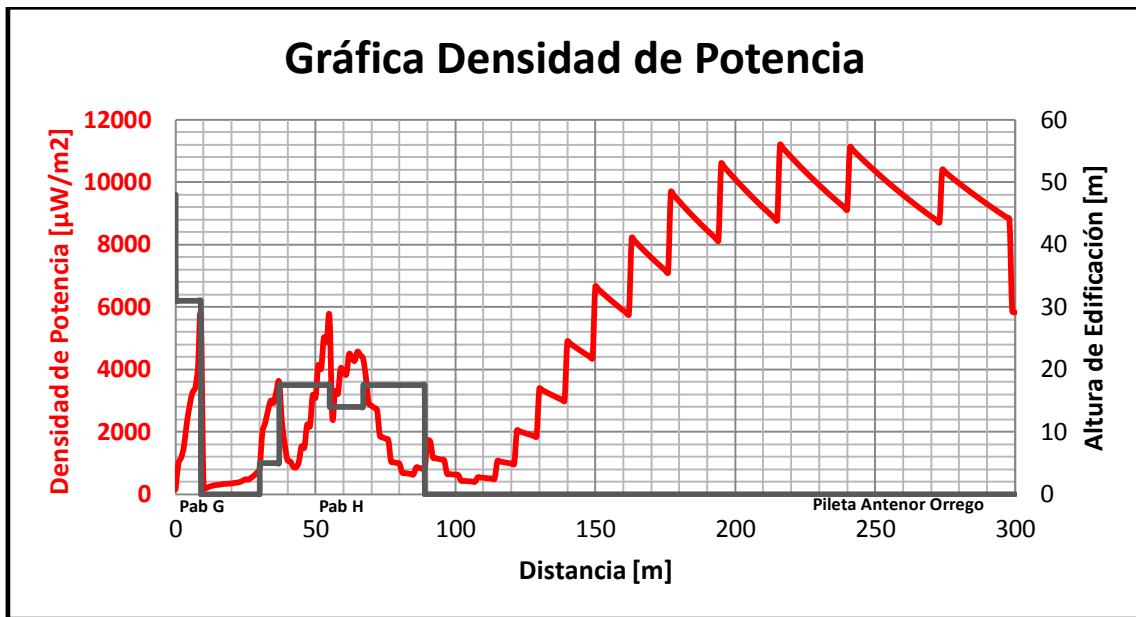


Figura 4.46. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 14 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

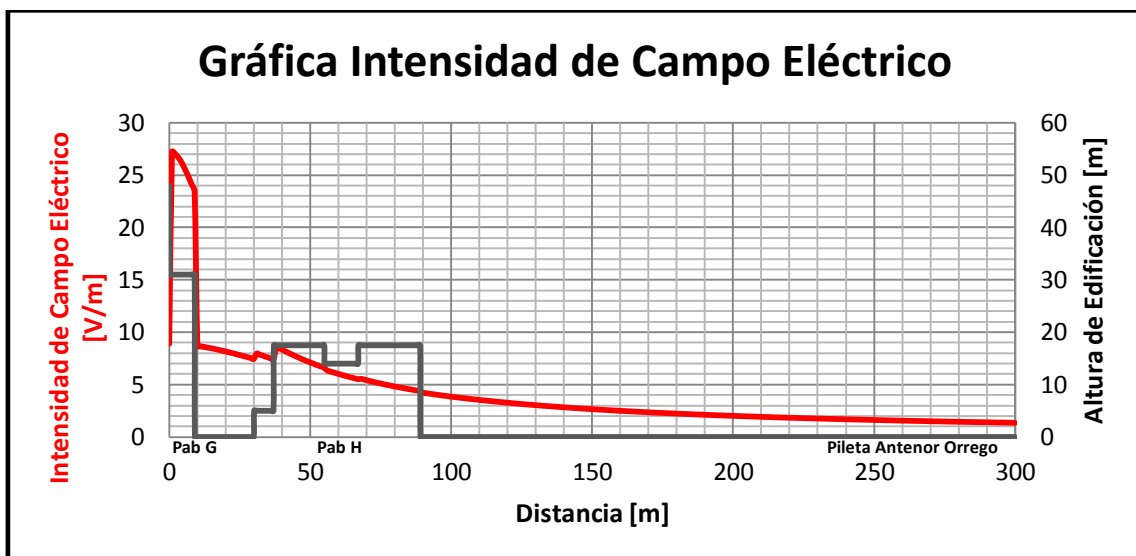


Figura 4.47. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 14 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 17

El “Pos 17” presenta un Ángulo Azimuth de 41°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

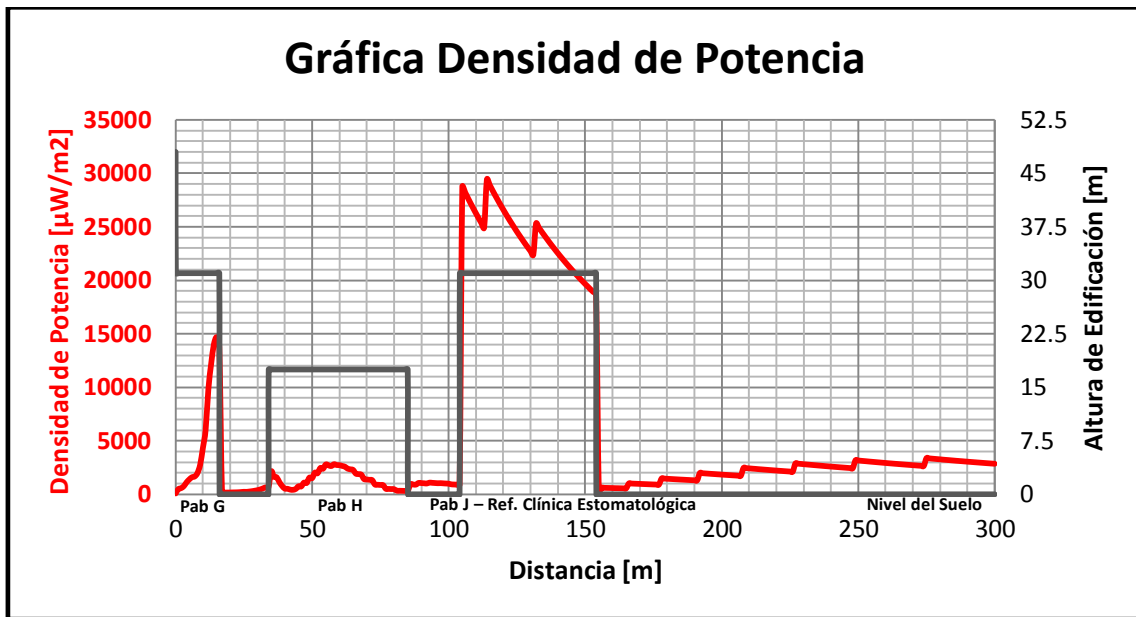


Figura 4.48. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 17 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

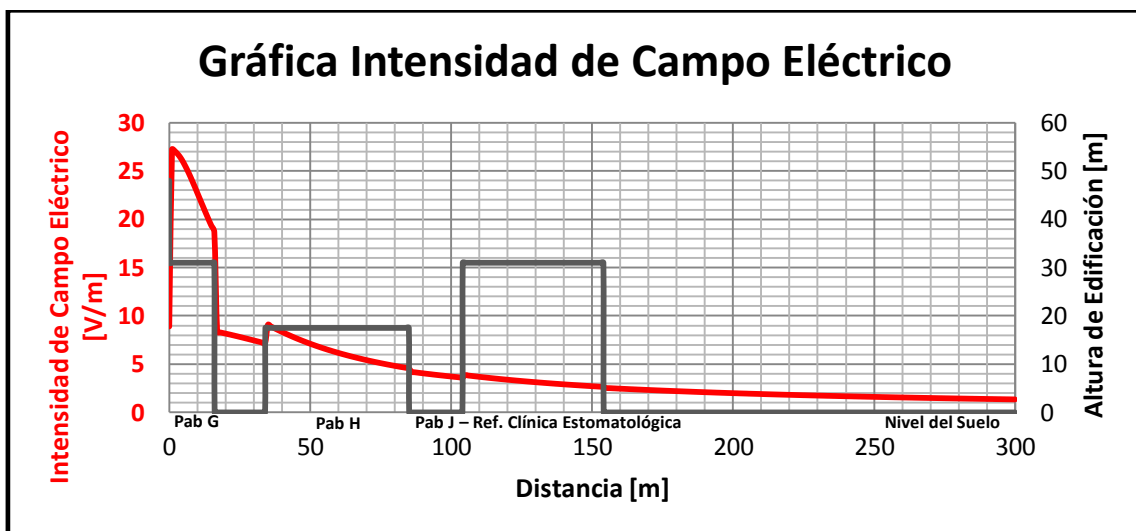


Figura 4.49. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 17 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 18

El “Pos 18” presenta un Ángulo Azimuth de 46°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

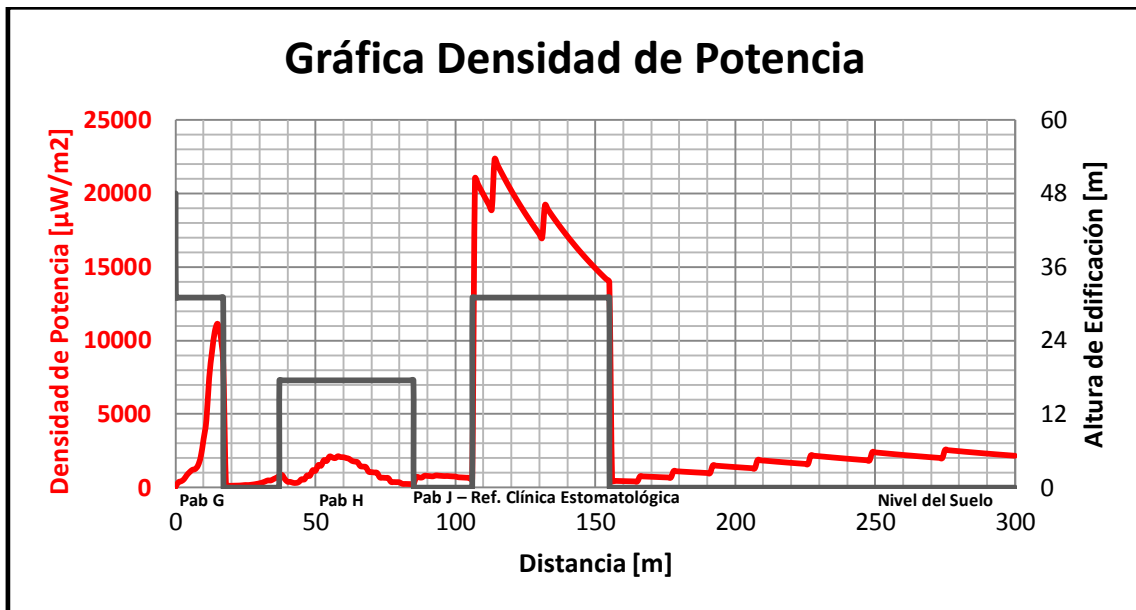


Figura 4.50. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 18 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

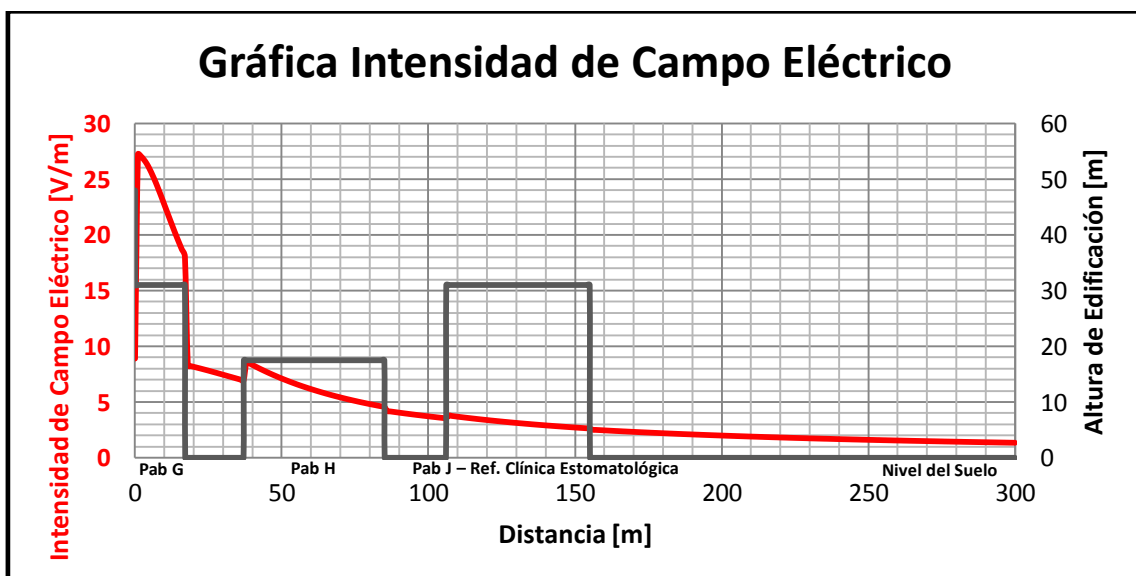


Figura 4.51. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 18 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ **Pos 21**

El “Pos 21” presenta un Ángulo Azimuth de 66° . Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

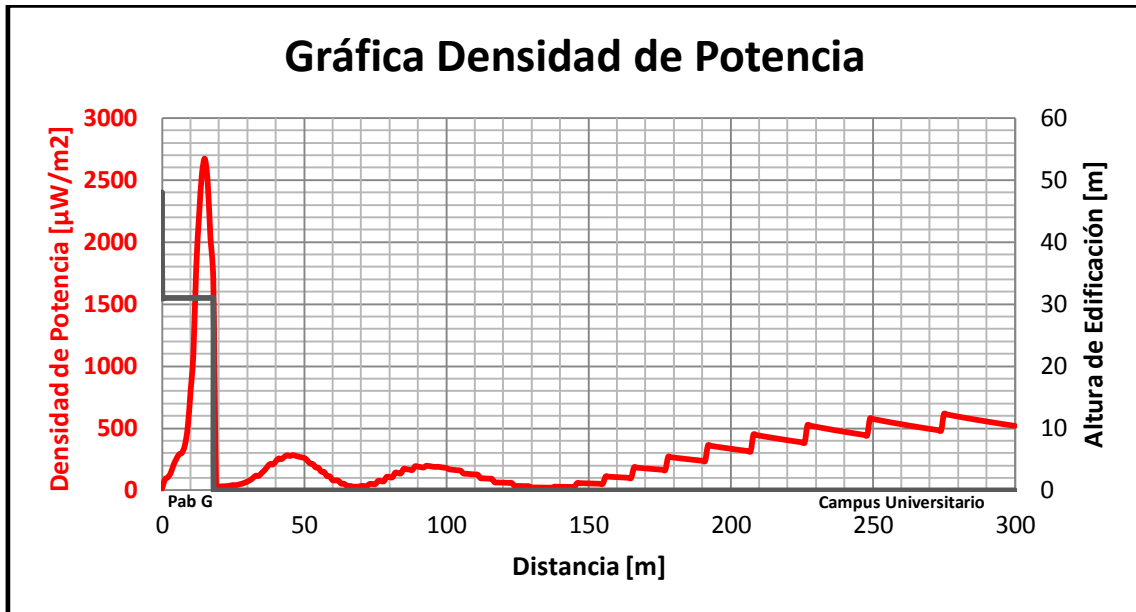


Figura 4.52. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 21 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

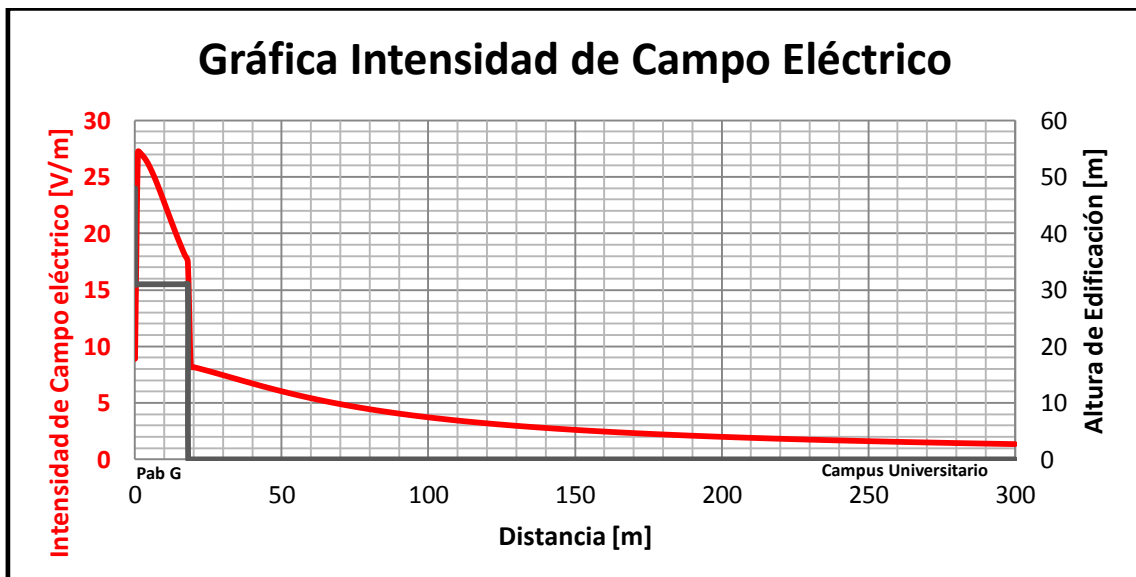


Figura 4.53. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 21 - Sector 2.

Fuente: Elaboración Propia.

C. SECTOR 3

Dentro de este sector, el estudio realizado presenta las siguientes características:

- Posee Ángulo Azimuth = 200° .
- Posee Ángulo Downtilt = 0° .
- Se basó en 07 trazos, denominado “Pos” más el número del trazo.

No obstante, se tomó en cuenta solo 6 de los 7 trazos para colocarlos en esta parte del desarrollo de la presente tesis; así como se presentó el Sector 1 y en el Sector 2, los demás trazos se encuentran ubicados en la sección Anexos, los cuales se presentarán las gráficas resultantes de Radiaciones No Ionizantes en cada uno de los sectores del Site a instalar en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

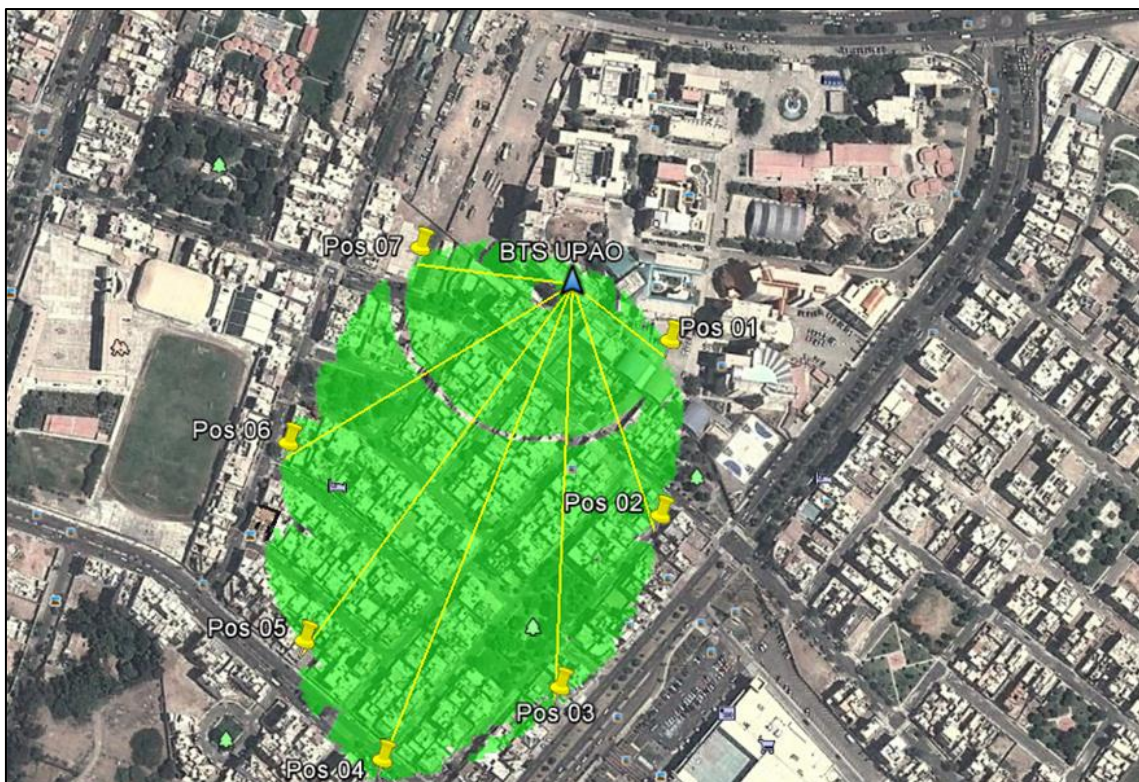


Figura 4.54. Estudio de Sector 3 de Site UPAO - Trujillo.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 02

El “Pos 02” presenta un Ángulo Azimuth de 331° . Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:



Figura 4.55. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 02 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

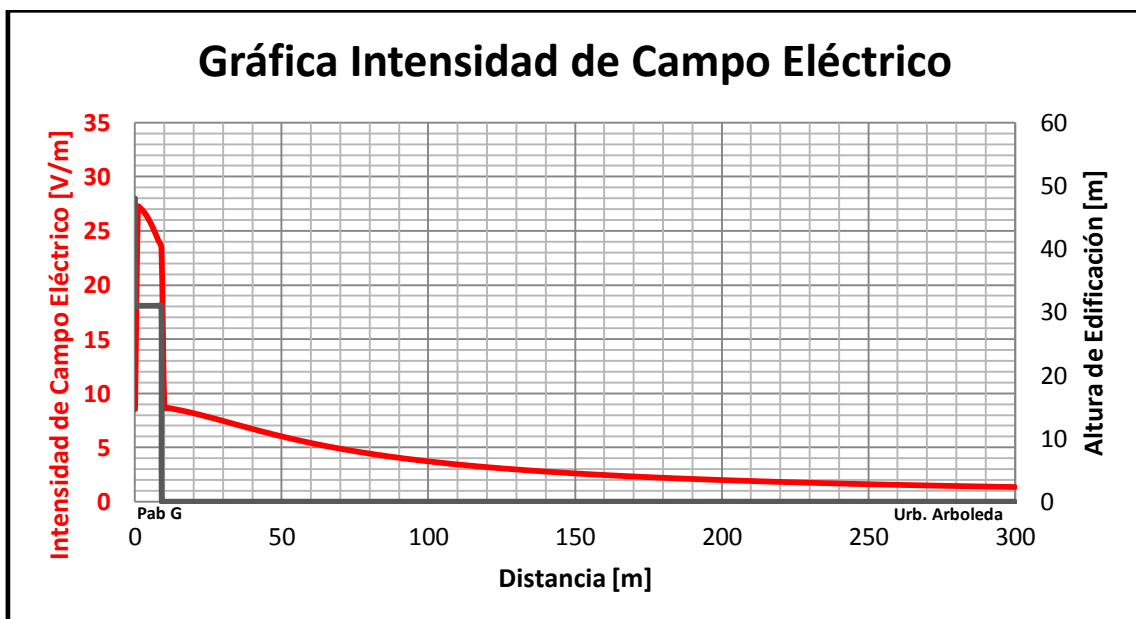


Figura 4.56. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 02 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 03

El “Pos 03” presenta un Ángulo Azimuth de 342°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

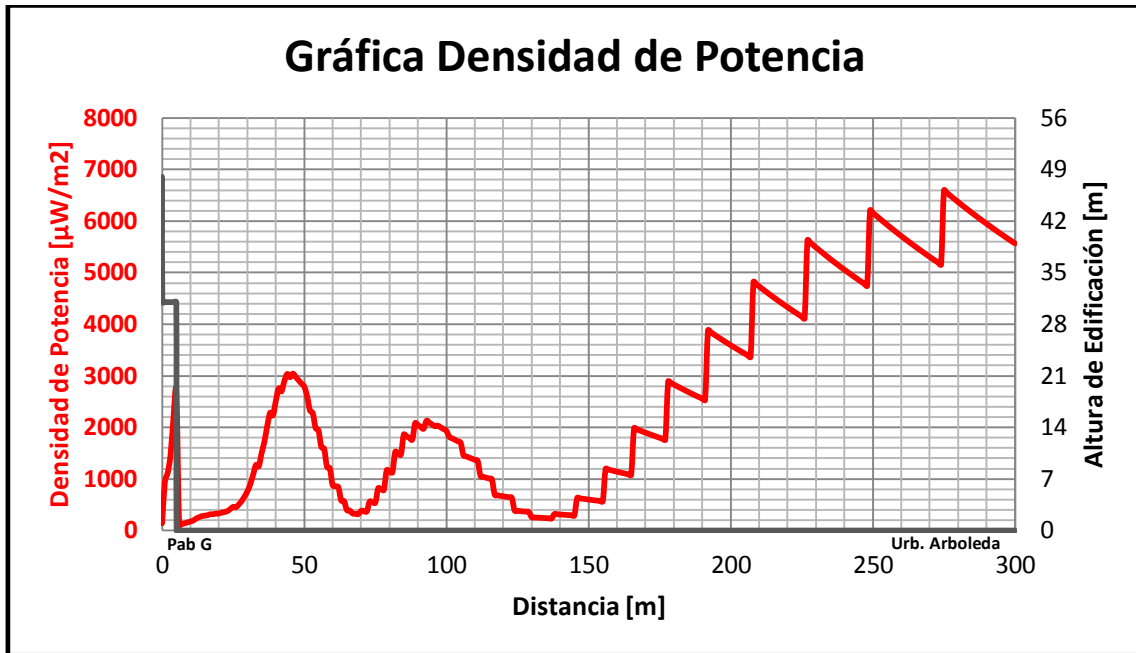


Figura 4.57. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 03 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

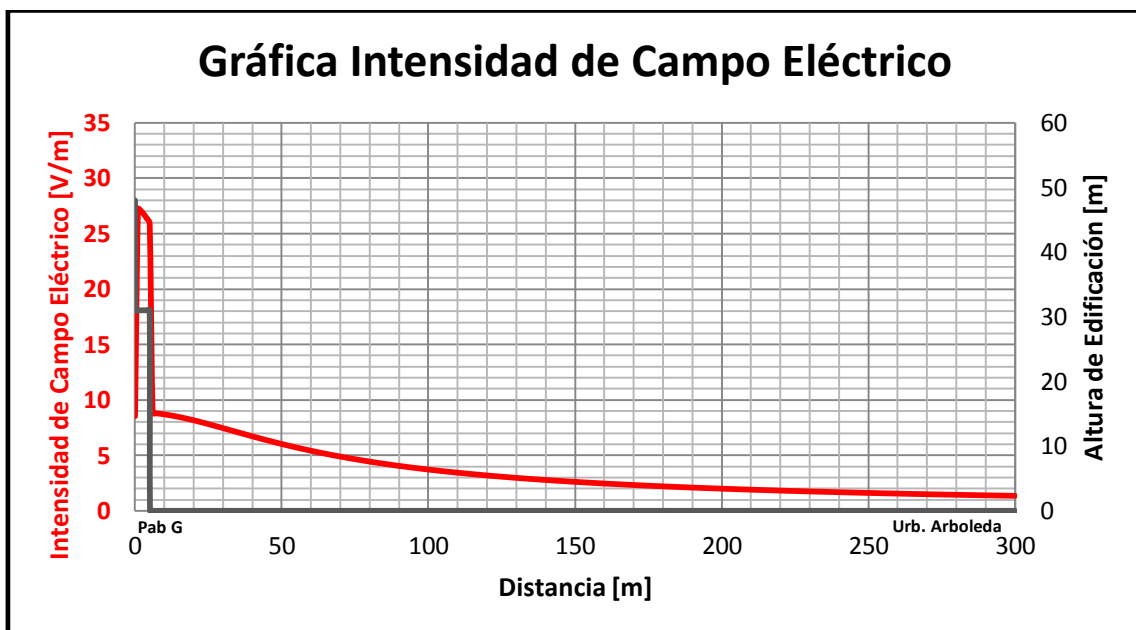


Figura 4.58. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 03 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 04

El “Pos 04” presenta un Ángulo Azimuth de 1°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

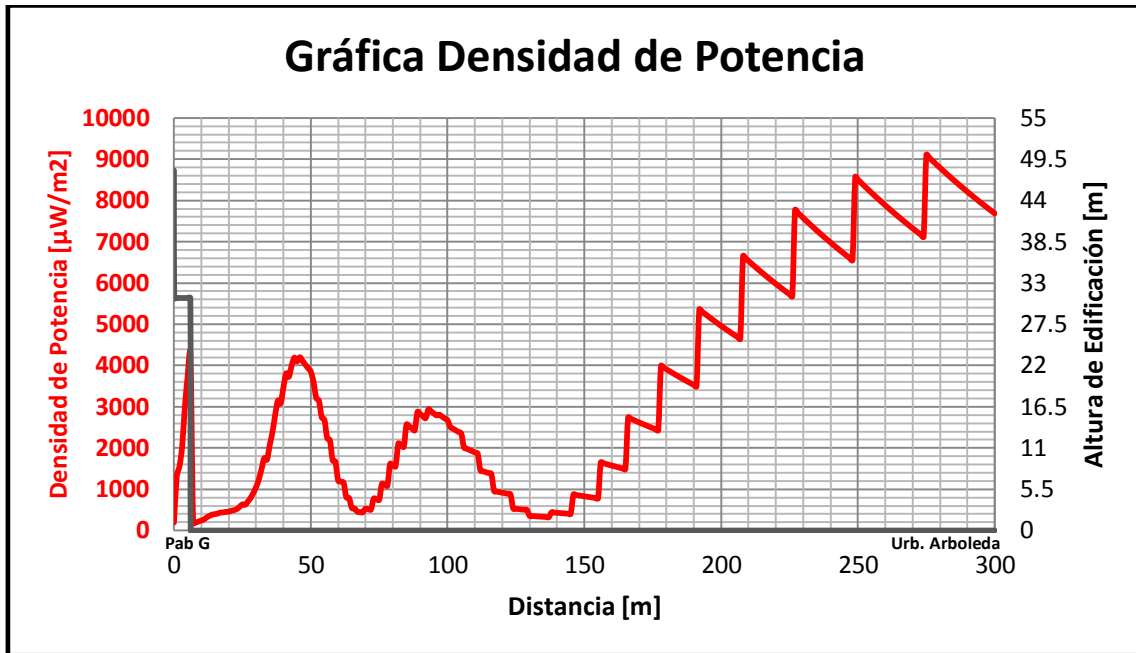


Figura 4.59. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 04 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

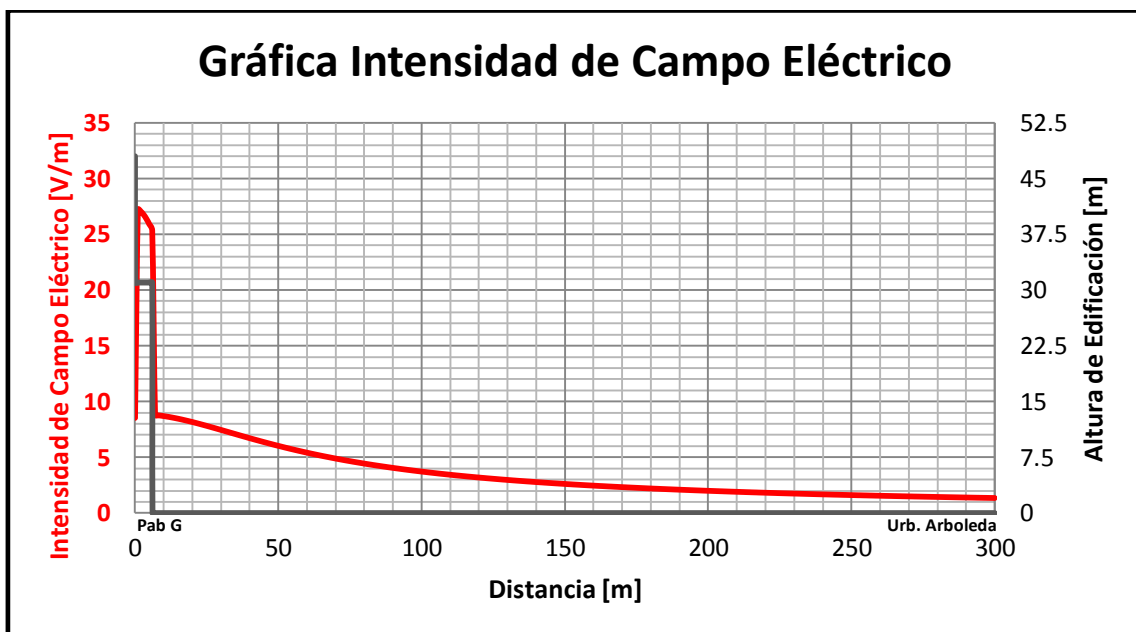


Figura 4.60. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 04 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 05

El “Pos 05” presenta un Ángulo Azimuth de 16°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:



Figura 4.61. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 05 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

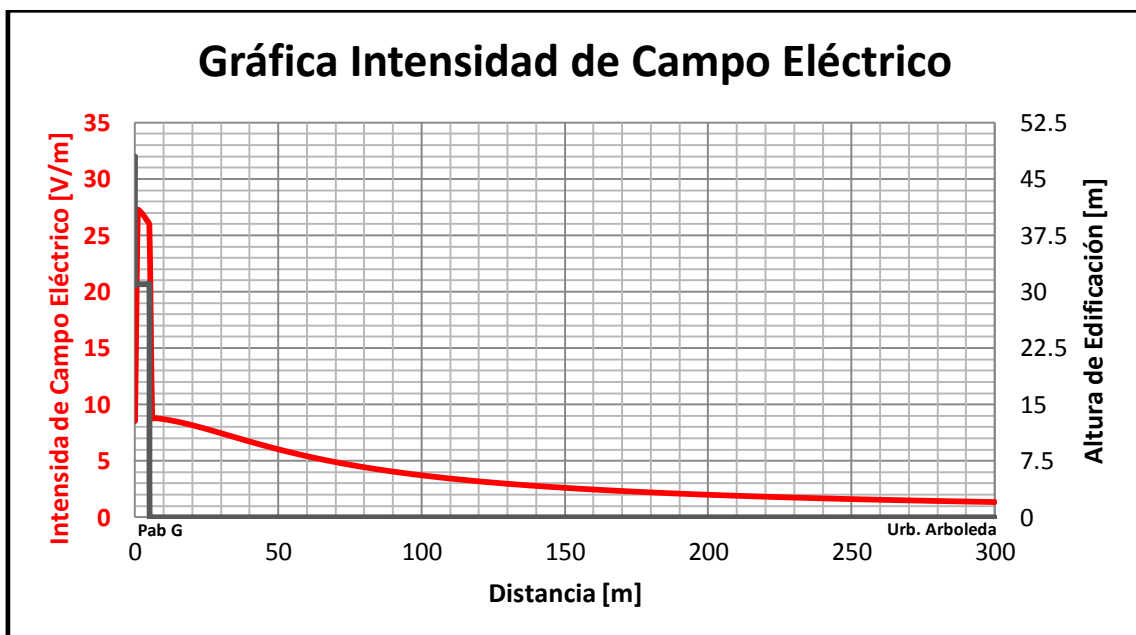


Figura 4.62. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 05 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 06

El “Pos 06” presenta un Ángulo Azimuth de 39°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

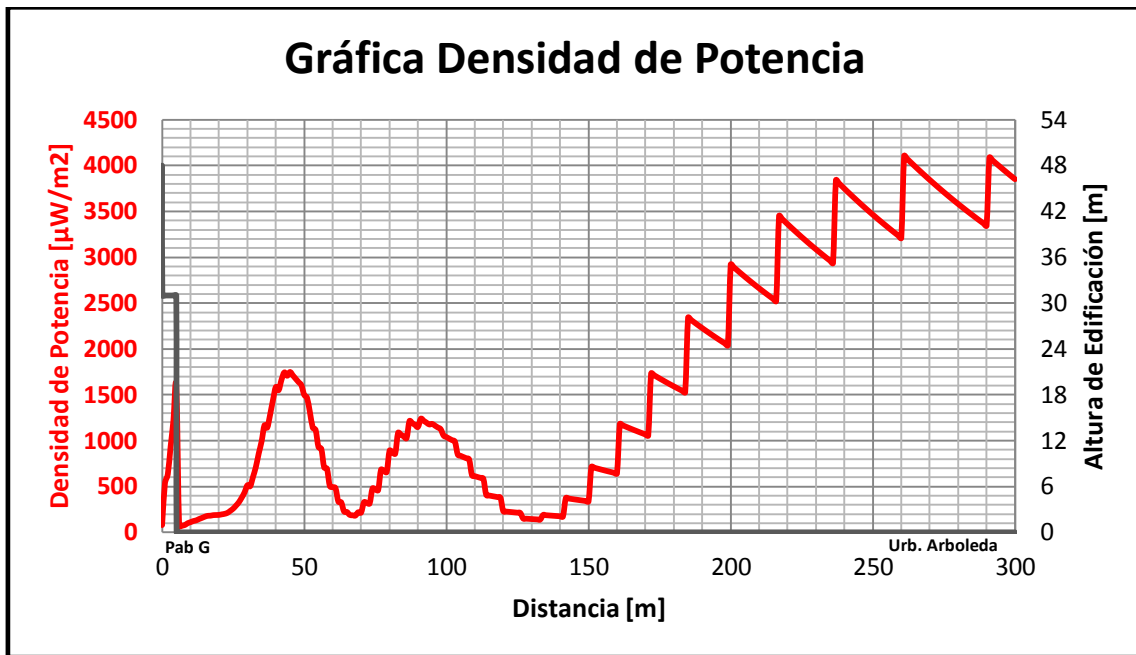


Figura 4.63. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 06 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

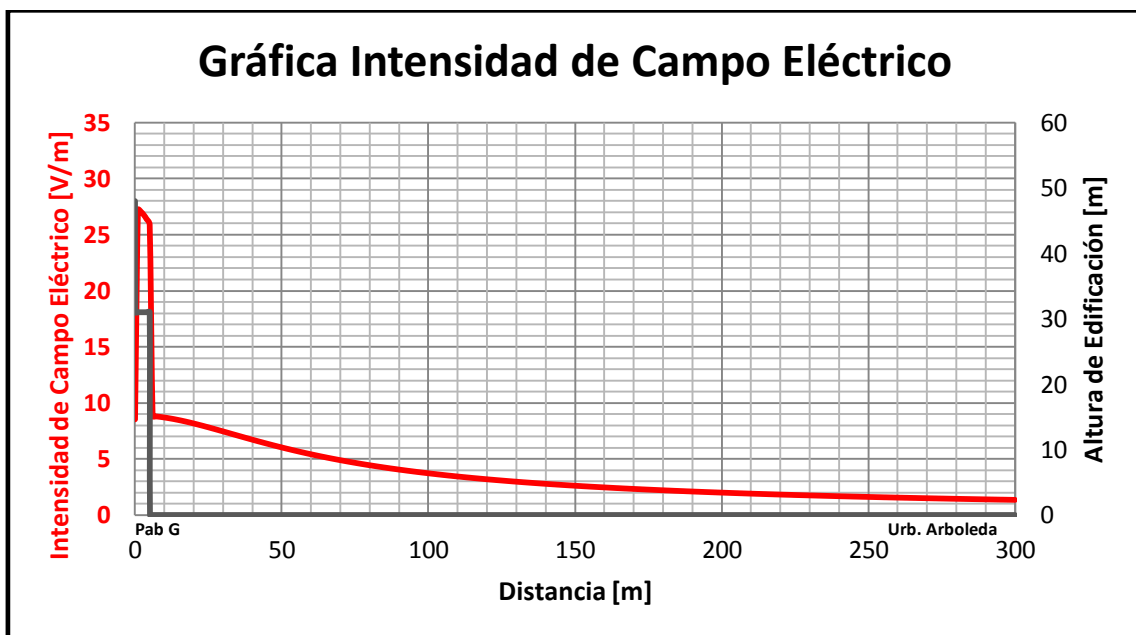


Figura 4.64. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 06 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

▪ Pos 07

El “Pos 07” presenta un Ángulo Azimuth de 77°. Asimismo, se presenta los resultados de las gráficas de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en las siguientes figuras:

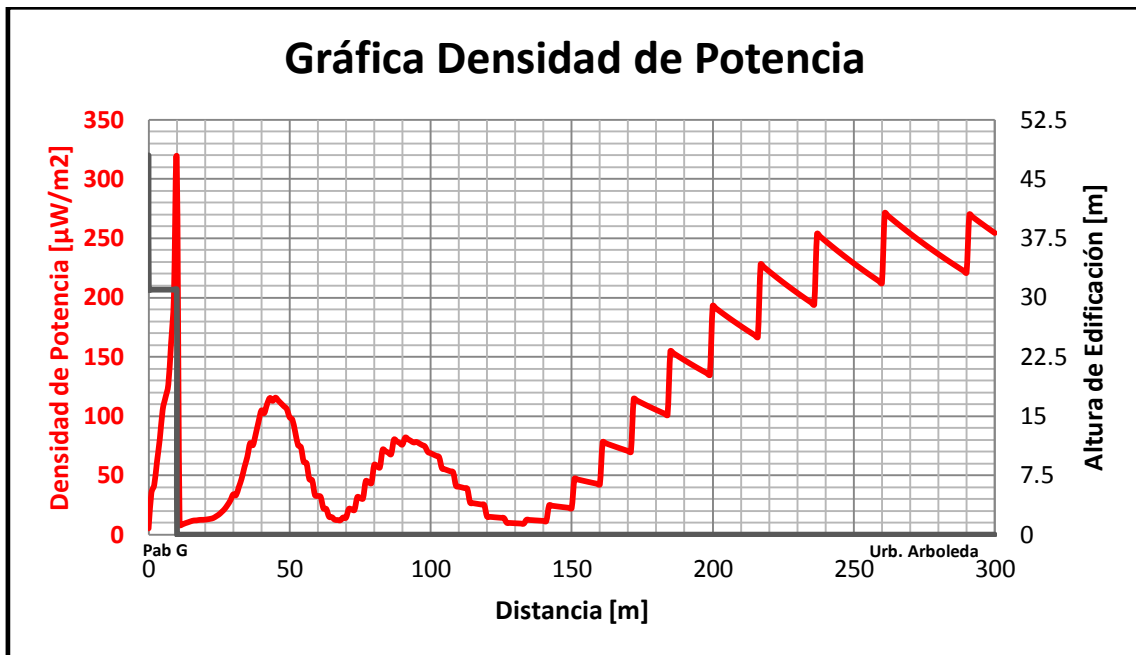


Figura 4.65. Gráfica Densidad de Potencia de Pos 07 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

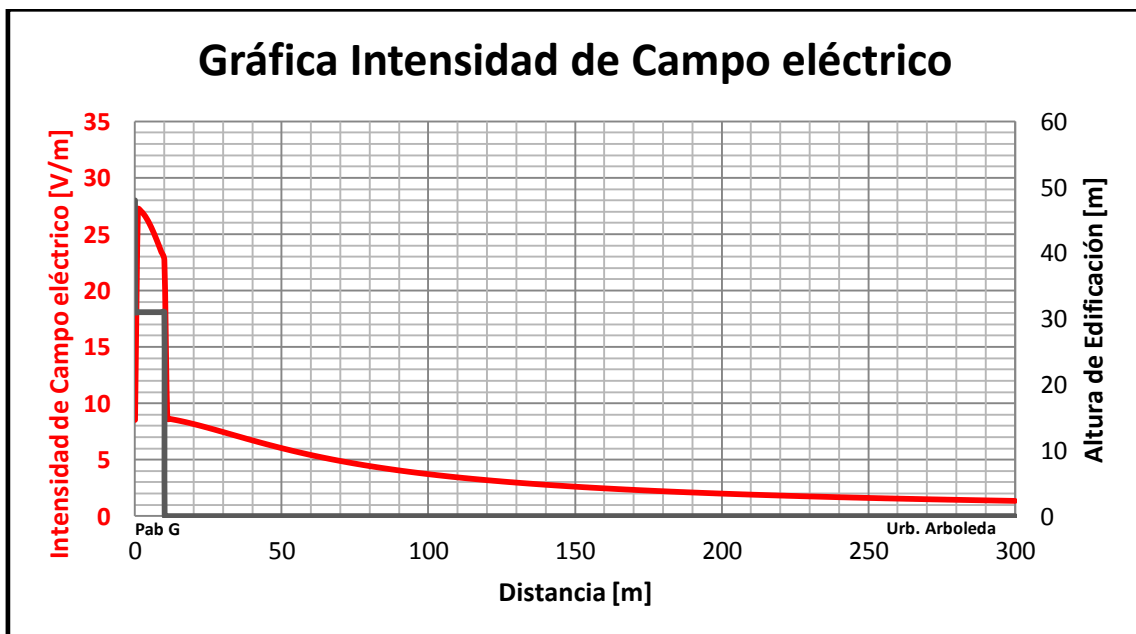


Figura 4.66. Gráfica Intensidad de Campo Eléctrico de Pos 07 - Sector 3.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.1. Cuadros de Resultados de Cada Sector según Normativa MTC

Para el análisis de los resultados, se tomó la información respectiva a los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes basados en la Normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Tal información se encuentra sintetizada y organizada en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Información para el Estudio de Radiaciones No Ionizantes en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Comparación de Resultados con Límites Máximos Permisibles MTC⁷⁴	
Servicio / Sistema	Servicio de Telefonía Móvil Celular.
Se requiere monitoreo si	Distancia de antena a personas ≤ 10 m. Pire = 1230 W (≤ 10 m.)
Normativa MTC para Límites Máximos Permisibles RNI⁷⁵	
Exposición Ocupacional	Exposición Poblacional
Densidad de Potencia = $F/40$ [W/m ²]	Densidad de Potencia = $F/200$ [W/m ²]
Intensidad de Campo Eléctrico = $3\sqrt{F}$ [V/m]	Intensidad de Campo Eléctrico = $1.375\sqrt{F}$ [V/m]
Intensidad de Campo Magnético = $0.008\sqrt{F}$ [A/m]	Intensidad de Campo Magnético = $0.0037\sqrt{F}$ [A/m]
Distancia Mínimas hacia Antenas de Estaciones Transmisoras⁷⁶	
Distancia Ocupacional	Distancia Poblacional
$r = 2.92\sqrt{Pire \times F}$ [m]	$r = 6.38\sqrt{Pire \times F}$ [m]

Fuente: Elaboración Propia.

Entonces, con la información recopilada y extraída del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se obtuvieron los siguientes límites, tal y como se muestra en la tabla a continuación:

⁷⁴ Ministerio de Transportes y Comunicaciones. D.S. N° 038-2006-MTC. Pág. 334168.

⁷⁵ Ministerio de Transportes y Comunicaciones. D.S. N° 038-2003-MTC. Pág. 247643.

⁷⁶ Ministerio de Transportes y Comunicaciones. D.S. N° 038-2003-MTC. Pág. 247647.

Tabla 5.2. Resultados de Cálculo Teórico RNI según Normativa MTC.

Normativa MTC para Límites Máximos Permisibles RNI	
Exposición Ocupacional	Exposición Poblacional
Densidad de Potencia = 21.25 [W/m ²] o 21 250 000 [μW/m ²]	Densidad de Potencia = 4.25 [W/m ²] o 4 250 000 [μW/m ²]
Intensidad de Campo Eléctrico = 87.46 [V/m]	Intensidad de Campo Eléctrico = 40.90 [V/m]
Intensidad de Campo Magnético = 0.23 [A/m] o 230 000 [μA/m]	Intensidad de Campo Magnético = 0.11 [A/m] o 110 000 [μA/m]
Distancia Mínimas hacia Antenas de Estaciones Transmisoras	
Distancia Ocupacional	Distancia Poblacional
1.07 [m]	7.30 [m]

Fuente: Elaboración Propia.

a) Sector 1

Según la Normativa MTC, este Sector no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes, tanto para el límite de exposición ocupacional (21.25 W/m²), como el límite de exposición poblacional (4.25 W/m²).

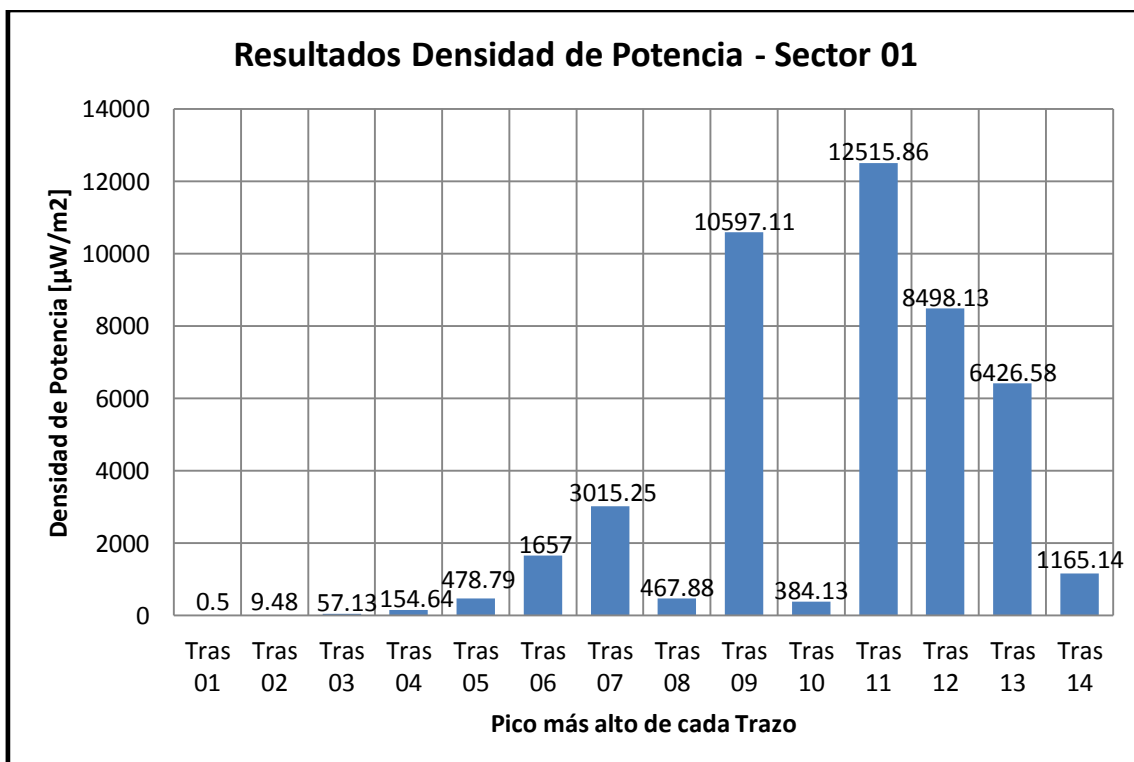


Figura 5.1. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en el Sector 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la fórmula para obtener la Intensidad de Campo Eléctrico ($E = \frac{\sqrt{30xpire}}{R}$), se tuvo resultados constantes e iguales, teniendo la magnitud de 27.23 V/m.

Para el caso de Intensidad de Campo Magnético, los resultados obtenidos de los picos más altos de cada trazo realizado en este sector se presentan a continuación en la siguiente gráfica:

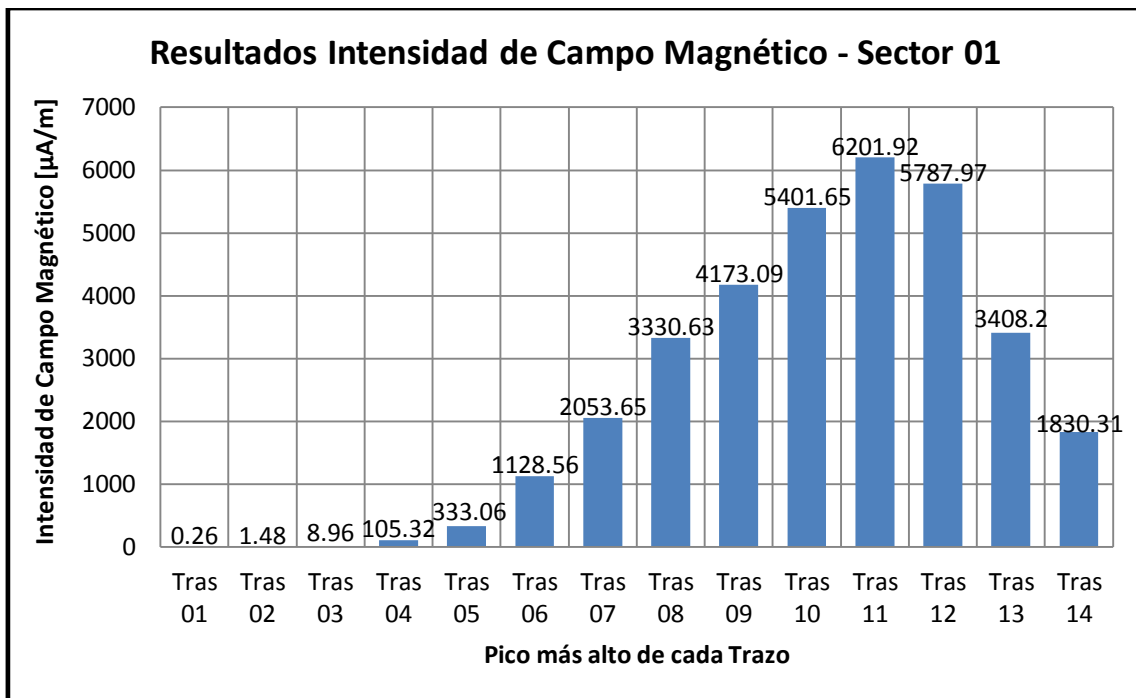


Figura 5.2. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 01.

Fuente: Elaboración Propia.

b) Sector 2

Es en este Sector donde se encuentran los puntos más críticos de la emisión de Radiaciones No Ionizantes entre los tres sectores simulados. No obstante, según Normativa MTC, no llega a los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para la banda de 850 MHz tanto para límites de exposición ocupacional (21.25 W/m^2), como los límites de exposición poblacional (4.25 W/m^2).

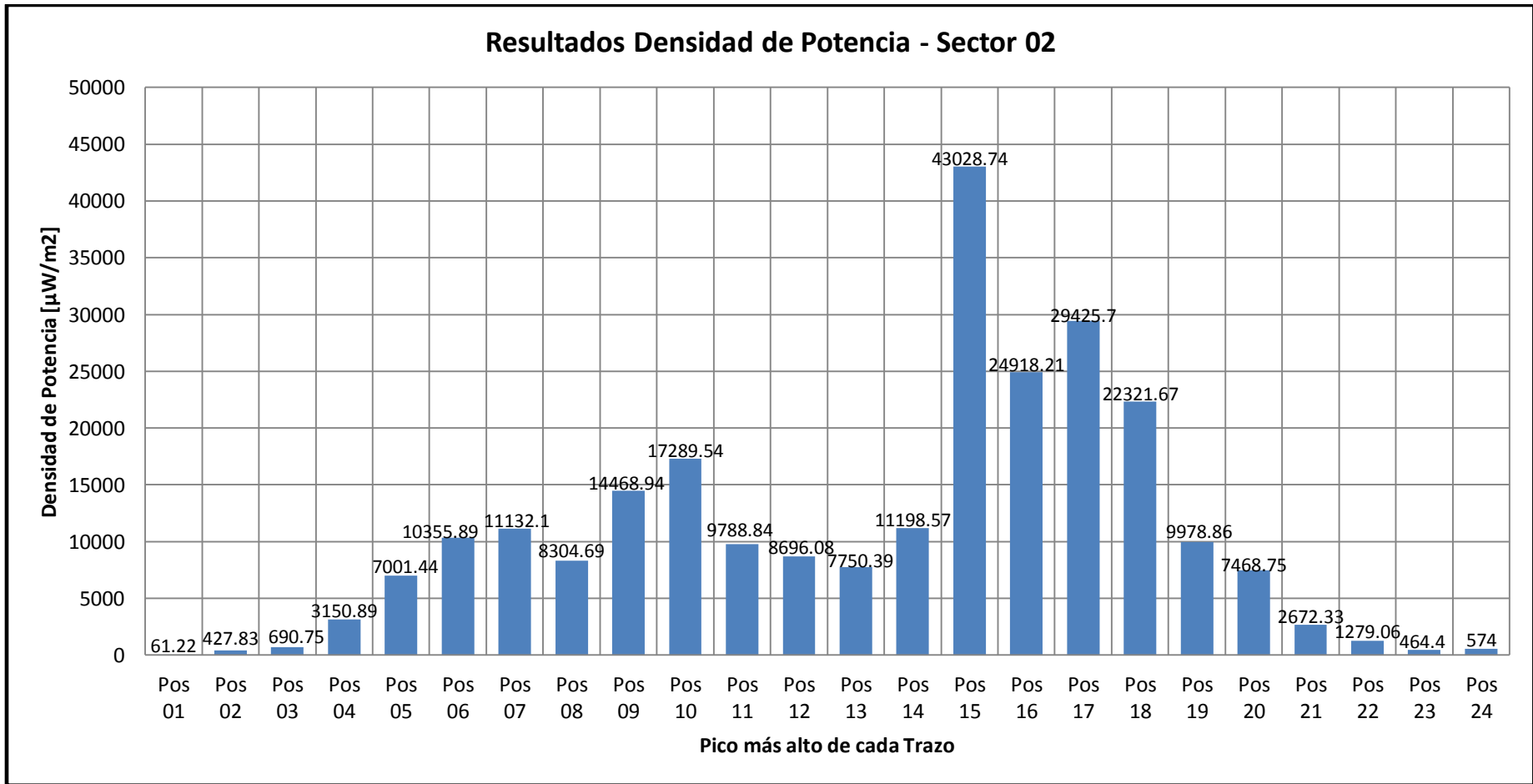


Figura 5.3. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en Sector 02.

Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, se tiene los resultados de Intensidad de Campo Eléctrico el cual tiene el mismo valor para el Sector 01 (27.23 V/m), y los resultados de Intensidad de Campo Magnético se presentan en la siguiente figura:

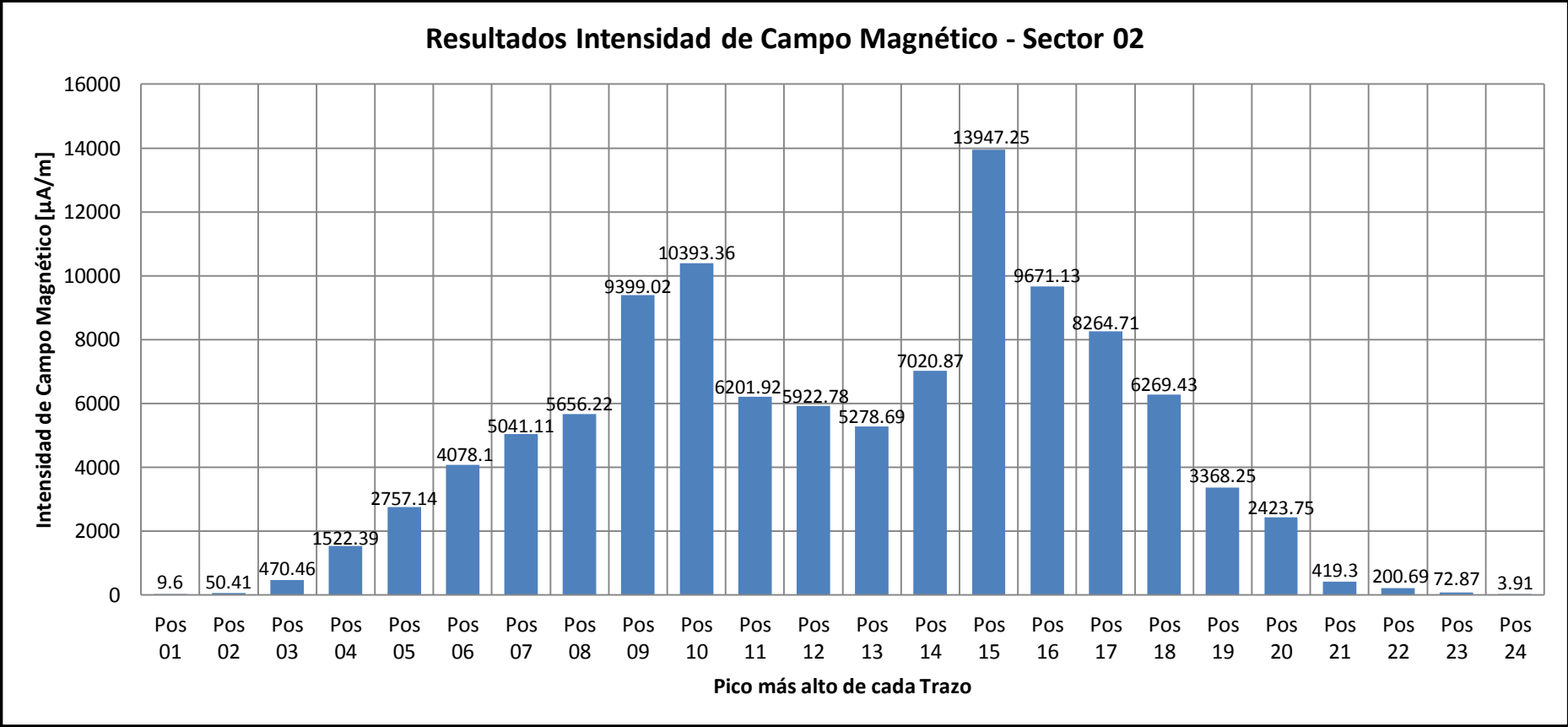


Figura 5.4. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 02.

Fuente: Elaboración Propia.

c) Sector 03

Los resultados obtenidos respecto a Densidades de Potencia e Intensidad de Campo Magnético se presentan en las siguientes figuras:

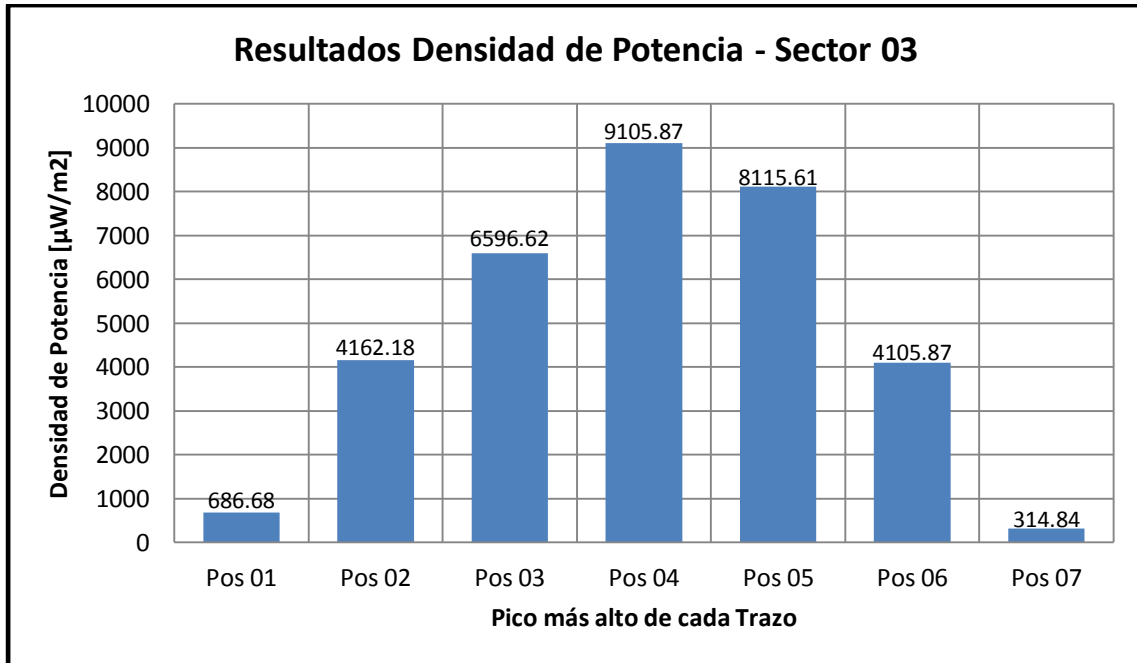


Figura 5.5. Resultado Puntos Críticos de Densidad de Potencia en Sector 03.

Fuente: Elaboración Propia.

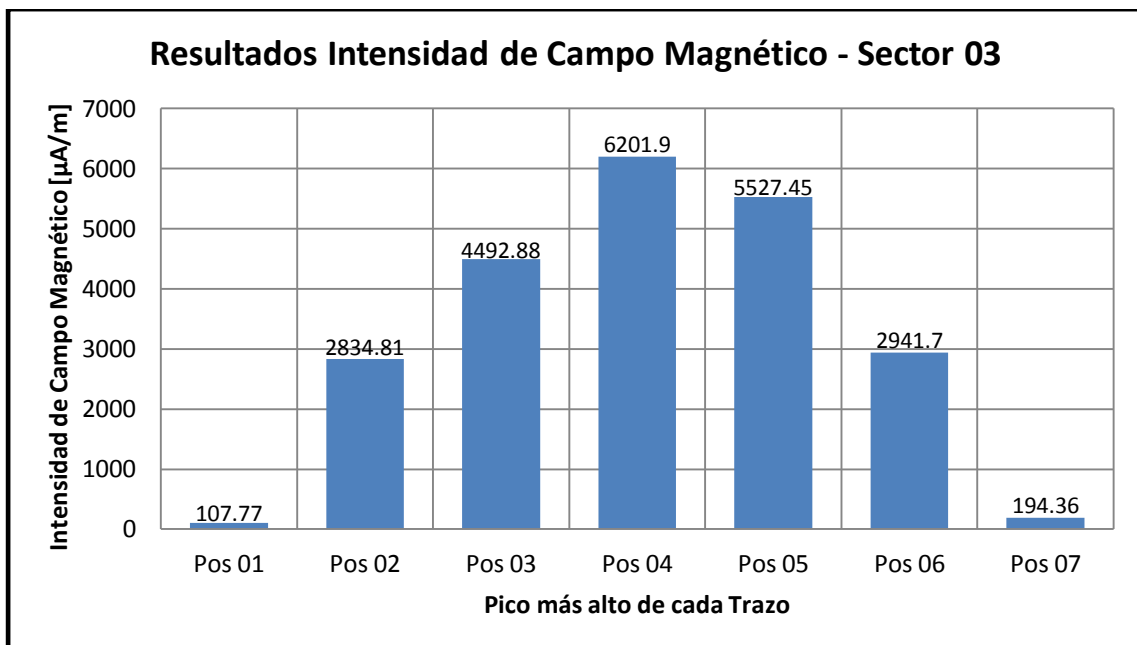


Figura 5.6. Resultado Puntos Críticos Intensidad Campo Magnético en Sector 03.

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2. Porcentajes de Picos más Altos en Cada Sector según Normativa MTC

a) Sector 01:

En el Sector 1, el porcentaje de exposición más alto se encuentra en el “Tras 11”, el cual tiene un porcentaje de exposición de densidad de potencia de 0.29 %.

Tabla 5.1. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 01.

Densidad de Potencia [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]		4250000
N° Trazo	Densidad de Potencia [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Porcentaje de Exposición [%]
Tras 01	0.5	0.00001
Tras 02	9.48	0.00022
Tras 03	57.13	0.00134
Tras 04	154.64	0.00364
Tras 05	478.79	0.01127
Tras 06	1657	0.03899
Tras 07	3010.25	0.07083
Tras 08	467.88	0.01101
Tras 09	10597.11	0.24934
Tras 10	384.13	0.00904
Tras 11	12515.86	0.29449
Tras 12	9418.13	0.2216
Tras 13	6426.58	0.15121
Tras 14	1165.14	0.02742

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la Intensidad de Campo Eléctrico, se observó que los picos más altos de radiación tienen la misma magnitud, por lo que el resultado llega a ser el mismo, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Intensidad de Campo Eléctrico} = \frac{27.23 \times 10^{-6}}{40.90} \times 100 = 0.0005\%$$

Se presenta una tabla para el caso de Intensidad de Campo Magnético donde el mayor porcentaje de radiación se encuentra en el “Tras 11”, llegando a tener un porcentaje de exposición de 5.64%.

Tabla 5.2. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 01.

Intensidad Campo Magnético [μA/m]		110000
N° Trazo	Densidad de Potencia [μW/m2]	Porcentaje de Exposición [%]
Tras 01	0.26	0.00024
Tras 02	1.48	0.00135
Tras 03	8.96	0.00815
Tras 04	105.32	0.09575
Tras 05	333.06	0.30278
Tras 06	1128.56	1.02596
Tras 07	2053.65	1.86695
Tras 08	3330.63	3.02785
Tras 09	4173.09	3.79372
Tras 10	5401.65	4.91059
Tras 11	6201.92	5.63811
Tras 12	5787.97	5.26179
Tras 13	3408.2	3.09836
Tras 14	1830.31	1.66392

Fuente: Elaboración Propia.

b) Sector 02:

En el Sector 2, el porcentaje de exposición más alto se encuentra en el “Pos 15”, el cual tiene un porcentaje de exposición de Densidad de Potencia de 1.01 %.

En el caso de la Intensidad de Campo Eléctrico, de la misma manera que en el Sector 1, se observó que los picos más altos de radiación tienen la misma magnitud, por lo que el resultado llega a ser el mismo, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Intensidad de Campo Eléctrico} = \frac{27.23 \times 10^{-6}}{40.90} \times 100 = 0.0005\%$$

También, se presenta una tabla para el caso de Intensidad de Campo Magnético donde el mayor porcentaje de radiación se encuentra en el “Pos 15”, llegando a tener un porcentaje de exposición de 12.68%.

Tabla 5.3. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 02.

Densidad de Potencia RNI [μW/m²]		4250000
N° Trazo	Densidad de Potencia [μW/m²]	Porcentaje de Exposición [%]
Pos 01	61.22	0.00144
Pos 02	427.83	0.01007
Pos 03	690.75	0.01625
Pos 04	3150.89	0.07414
Pos 05	7001.44	0.16474
Pos 06	10355.89	0.24367
Pos 07	11132.1	0.26193
Pos 08	8304.69	0.1954
Pos 09	14468.94	0.34045
Pos 10	17289.54	0.40681
Pos 11	9788.84	0.23033
Pos 12	8696.08	0.20461
Pos 13	7750.39	0.18236
Pos 14	11198.57	0.2635
Pos 15	43028.74	1.01244
Pos 16	24918.21	0.58631
Pos 17	29425.7	0.69237
Pos 18	22321.67	0.52522
Pos 19	9978.86	0.2348
Pos 20	7468.75	0.17574
Pos 21	2672.33	0.06288
Pos 22	1279.06	0.0301
Pos 23	464.4	0.01093
Pos 24	574	0.01351

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5.4. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 02.

Intensidad Campo Magnético [$\mu\text{A/m}$]		110000
N° Trazo	Densidad de Potencia [$\mu\text{W/m}^2$]	Porcentaje de Exposición [%]
Pos 01	9.6	0.00873
Pos 02	50.41	0.04583
Pos 03	470.46	0.42769
Pos 04	1522.39	1.38399
Pos 05	2757.14	2.50649
Pos 06	4078.1	3.70736
Pos 07	5041.11	4.58283
Pos 08	5656.22	5.14202
Pos 09	9399.02	8.54456
Pos 10	10393.36	9.44851
Pos 11	6201.92	5.63811
Pos 12	5922.78	5.38435
Pos 13	5278.69	4.79881
Pos 14	7020.87	6.38261
Pos 15	13947.25	12.67932
Pos 16	9671.13	8.79194
Pos 17	8264.71	7.51337
Pos 18	6269.43	5.69948
Pos 19	3368.25	3.06205
Pos 20	2423.75	2.20341
Pos 21	419.3	0.38118
Pos 22	200.69	0.18245
Pos 23	72.87	0.06625
Pos 24	3.91	0.00355

Fuente: Elaboración Propia.

c) Sector 03:

En el Sector 3, el porcentaje de exposición más alto se encuentra en el “Pos 04”, el cual tiene un porcentaje de exposición de Densidad de Potencia de 0.21 %.

Tabla 5.5. Resultados de Porcentajes de Exposición Densidad de Potencia Sector 03.

Densidad de Potencia RNI [μW/m2]		4250000
N° Trazo	Densidad de Potencia [μW/m2]	Porcentaje de Exposición [%]
Pos 01	686.69	0.01616
Pos 02	4162.18	0.09793
Pos 03	6596.62	0.15521
Pos 04	9105.87	0.21426
Pos 05	8115.61	0.19096
Pos 06	4105.87	0.09661
Pos 07	314.84	0.00741

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la Intensidad de Campo Eléctrico, de la misma manera que en el Sector 1 y en el Sector 2, se observó que los picos más altos de radiación tienen la misma magnitud, por lo que el resultado llega a ser el mismo, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Intensidad de Campo Eléctrico} = \frac{27.23 \times 10^{-6}}{40.90} \times 100 = 0.0005\%$$

Se presenta una tabla para el caso de Intensidad de Campo Magnético donde el mayor porcentaje de radiación se encuentra en el “Pos 04”, llegando a tener un porcentaje de exposición de 5.64%.

Tabla 5.6. Resultados Porcentajes Exposición Intensidad Campo Magnético Sector 03.

Intensidad Campo Magnético [μA/m]		110000
N° Trazo	Densidad de Potencia [μW/m2]	Porcentaje de Exposición [%]
Tras 01	107.77	0.09797
Tras 02	2834.81	2.5771
Tras 03	4492.88	4.08444
Tras 04	6201.9	5.63809
Tras 05	5527.45	5.02495
Tras 06	2941.7	2.67427
Tras 07	194.36	0.17669

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- ✓ Las Densidades de Potencia estimadas de la Estación Base GSM 850 MHz, son inferiores al Límite Máximo Permisible de Radiaciones No Ionizantes establecido en la Normativa del MTC, equivalente a 4.25 W/m^2 o $4\,250\,000 \mu\text{W/m}^2$.
- ✓ Las Intensidades de Campo Eléctrico estimadas de la Estación Base GSM 850 MHz, son inferiores al Límite Máximo Permisible de Radiaciones No Ionizantes establecido en la Normativa del MTC, equivalente a 40.90 V/m .
- ✓ Las Intensidades de Campo Magnético estimadas de la Estación Base GSM 850 MHz, son inferiores al Límite Máximo Permisible de Radiaciones No Ionizantes establecido en la Normativa del MTC, equivalente a 0.11 A/m o $110\,000 \mu\text{A/m}$.
- ✓ Por lo expuesto, se demuestra que las Radiaciones No Ionizantes calculadas se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles, en consecuencia las ondas electromagnéticas no tienen impactos negativos sobre la población de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

6.2. RECOMENDACIONES

- La implementación del estudio de la Estación Base GSM 850 MHz en el ámbito de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.
- Realizar estudios similares con fines de implementación e investigación utilizando otras frecuencias como las de radio, televisión, etc.
- Realizar estudios de radiaciones de todas las estaciones celulares aledañas a la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.
- Una de las recomendaciones más defendidas por las organizaciones en contra de las Radiaciones No Ionizantes es el Acuerdo de Salzburgo, firmado en Austria en el año 2000, el cual establece el límite máximo de $1\ 000\ \mu\text{W}/\text{m}^2$ o $0.6\ \text{V}/\text{m}$, sin embargo esta recomendación aún carece de reconocimiento científico y no es aceptado por la OMS⁷⁷.

⁷⁷ Anexo 4. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes según Acuerdo de Salzburgo, año 2001.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1.1. LIBROS

- TANENBAUM, A. (1997). *Redes de Computadoras* (Tercera Edición). México: Pearson Education. ISBN 968-880-958-6.
- HERNANDO, J. (2008). *Transmisión por Radio* (Sexta Edición). Madrid: Centro de Estudio Ramón Areces S.A. ISBN: 9788-4800-4856-9.
- STEELE, R.; CHIN-CHUN, L.; GOULD, P. (2001). *GSM, CDMAOne and 3G Systems*. England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-470-84167-2.
- SEYBOLD, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. United States of America: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-65596-1.
- TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta Edición). México: Prentice Hall. ISBN: 970-26-0316-1.
- SEARS, ZEMANSKY (2009). *Física Universitaria Vol.2* (Décimo segunda Edición). México: Addison-Wesley. ISBN: 978-0321-5012-19.
- KRAUS (1997). *Antennas* (Second Edition). New York: McGraw-Hill Inc. Pág. 17.

7.1.2. TESIS

- CHÁVARRI, C. (2011). Residencia Estudiantil para Estudiantes Foráneos de la UPAO - Trujillo. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú.
- GALLEGOS PAZ, F. (2009). Software Aplicativo para el Análisis Predictivo del Comportamiento de los Niveles de Campo Eléctrico y la Distribución de Potencia producida por las Estaciones de Telefonía Móvil. Universidad Católica de Santa María. Arequipa - Perú.
- NORIEGA, R. (2009). Análisis e Interpretación de las Mediciones de las Radiaciones No Ionizantes en las Radio Bases de Telefonía Móvil en la Ciudad de Riobamba. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.

- BARROS, D.; JIMBO, C. (2011). Medición y Simulación de RNI para las Bandas MF, HF, VHF y UHF de Broadcast en la ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Guayaquil - Ecuador.
- AVENDAÑO, J.; GONZAGA, K.; RUIZ, J. (2013). Análisis Técnico de las Radiaciones Electromagnéticas emitidas por las Antenas de las Radiobases Celulares en la Ciudad de Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Guayaquil - Ecuador.
- HERNÁNDEZ, A (2003). Operación de una Radio Base Celular cuando coexisten GSM & IS-54, IS-136. Universidad de las Américas Puebla. Puebla - México.

7.1.3.AUTOR CORPORATIVO - INFORME

- PERÚ. Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (2007). Perú: Evolución del Acceso, la Cobertura y la Penetración en los Servicios de Telefonía. Lima: OSIPTEL Reporte N° 1 SGI-GPR. Recuperado el 28 de Agosto del 2013, de:
http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines_CID/25_AGOSTO/ARCHIVO/Telecom/Osiptel.pdf
- PERÚ. Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (2013). Emisiones Radioeléctricas. Lima: OSIPTEL PL 1374/2012 CR. Recuperado el 28 de Agosto del 2013, de:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012defconorgregserpub.nsf/pubsfoto/F5B719A62BF7EB3305257B4100746E46/\\$FILE/OSIPTELRNI.PDF](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012defconorgregserpub.nsf/pubsfoto/F5B719A62BF7EB3305257B4100746E46/$FILE/OSIPTELRNI.PDF)
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctrico, Magnéticos y Electromagnéticos. Recuperado el 30 de Agosto del 2013, de:
<http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>

- PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2004). Norma Técnica-Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes. Recuperado el 01 de Setiembre del 2013, de:
http://rni.inictel-uni.edu.pe/normativa-tecnica/TELEC/R_M_N_612_2004_MTC_03_Lineamentos.pdf
- PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003). Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes. Recuperado el 04 de Setiembre del 2013, de:
https://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/Limites_Maximos_Permisibles_RNI%2806-07-2005%29.pdf
- PERÚ. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011). Plan Nacional de Atribución de Frecuencias. Recuperado el 05 de Setiembre del 2013 de:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_115.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (2000). Orientación sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las personas a los Campos Electromagnéticos. Recomendación UIT-T K.52. Recuperado el 05 de Setiembre del 2013 de:
<http://www.itu.int/rec/T-REC-K.52/es>

7.1.4.DOCUMENTOS

- FIGUEROA, B.; VEGA, V.; ZAVALETA, C. (2012). Estudio Teórico de las Radiaciones No Ionizantes de la Estación de Servicio de Radiodifusión sonora educativa en onda media OM Radio Estación UPAO 830 KHz, empleando el método predictivo. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú.
- Huawei Technologies co., LTD. Node B V200R013. Technical Description.
- Huawei Technologies co., LTD. BBU3900 GSM V300R008. User Guide.
- Huawei Technologies co., LTD. BBU3900 GSM Family
- Andrew Commscope DBXLH-6565C-VTM.