

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



**“COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE DENSIDAD DE
POTENCIA ESTIMADOS SEGÚN LA ALTURA DE EDIFICACIÓN.
CASO: ESTACIÓN MOVISTAR LARCO EN LA BANDA DE 850
MHZ EN LA URBANIZACIÓN SAN ANDRÉS, DISTRITO DE
TRUJILLO”**

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

AUTORES :

Br. Nelitza Scarled Garcia Bocanegra

Br. Liliana Fabián Ramírez

ASESOR :

Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez

Trujillo - Perú

2016

ACREDITACIONES

“COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE DENSIDAD DE POTENCIA ESTIMADOS SEGÚN LA ALTURA DE EDIFICACIÓN. CASO: ESTACIÓN MOVISTAR LARCO EN LA BANDA DE 850 MHZ EN LA URBANIZACIÓN SAN ANDRÉS, DISTRITO DE TRUJILLO”

Elaborado Por:

Br. Nelitza Scarled Garcia Bocanegra

Br. Liliana Fabián Ramírez

Aprobado por :

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916

Ing. LENIN LLANOS LEON
SECRETARIO
CIP N° 139213

Ing. LUIS ALVARADO RODRIGUEZ
VOCAL
CIP N° 149200

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones y Redes para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE DENSIDAD DE POTENCIA ESTIMADOS SEGÚN LA ALTURA DE EDIFICACIÓN. CASO: ESTACIÓN MOVISTAR LARCO EN LA BANDA DE 850 MHZ EN LA URBANIZACIÓN SAN ANDRÉS, DISTRITO DE TRUJILLO”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, Diciembre del 2016

Br. Nelitza Scarled García Bocanegra

Br. Liliana Fabián Ramírez

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo siempre en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por brindarme su apoyo incondicional y ánimos para salir adelante.

A quien se ganó mi corazón y siempre me inspiro y motivo a continuar. Por creer en mí y acompañarme en todo este largo camino profesional.

A mis profesores, amigas, compañeros y en especial a mi asesor, el Ing. Eduardo Cerna, por brindarme de su experiencia y dedicación en el proceso de realizar esta tesis.

Nelitza Scarled.

A Dios, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres y hermanos porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mi compañero, amigo y cómplice, que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional y por su ayuda.

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

Liliana Fabián.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos dado fuerzas y ganas de seguir superarnos profesionalmente para establecer objetivos, realizar metas y cumplir responsabilidades.

A la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, por brindarnos los conocimientos necesarios para el desarrollo del Proyecto de Tesis y abrirnos el camino hacia el ámbito laboral.

A todos nuestros profesores universitarios de ingeniería electrónica, por brindarnos conocimientos en cada una de las materias tomadas para el desarrollo profesional.

A nuestros padres por enseñarnos que la mejor herencia es la educación, por sus consejos, valores, motivación y amor.

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

A todos Gracias

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está centrado en el estudio comparativo de los niveles de densidad de potencia clasificados de acuerdo a la altura de las edificaciones circundantes a la Estación Movistar Larco en la Urbanización San Andrés, en la ciudad de Trujillo - Perú. En ese contexto, se realiza una presentación de los aspectos involucrados en la estimación de radiaciones no ionizantes normadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones o el Ministerio del Ambiente según corresponda. Se brindan alcances respecto al levantamiento de información técnica 2G y 3G de la estación y alturas de edificaciones circundantes. Sobre la base de las consideraciones anteriores, se realizan las estimaciones para 36 000 puntos dentro de un radio de 500 metros de distancia. Al clasificar las estimaciones de densidad de potencia por la altura de la edificación, se muestra una diferencia significativa entre las medias obtenidas para los edificios de mayor altura respecto de las viviendas comunes y áreas abiertas.

ABSTRACT

The present research work is focused on the comparative study of the power density levels classified according to the height of the buildings surrounding the station Movistar Larco in the urbanization San Andres, in the city of Trujillo-Peru. In that context, it will realize a presentation about the aspects involved in the estimation of non-ionizing radiation regulated by the ministry of the environment as appropriate. Achievements are achieved regarding the lifting of technical information 2G and 3G of the station and heights of surrounding buildings. On the basis of the above considerations, estimates are made for 36000 points with a radius of 500 meters distance. When classifying the power density estimates by the height of the building, it shows a significant difference between what is obtained for the highest buildings respect to the common houses and open areas.

ÍNDICE

	Pág.
ACREDITACIONES	i
PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática.....	2
1.2. Delimitación del problema.....	3
1.3. Características y análisis del problema	4
1.4. Formulación del problema	5
1.5. Formulación de la Hipótesis.....	5
1.6. Objetivos de la Investigación	5
1.6.1. Objetivo General.....	5
1.6.2. Objetivos Específicos.....	6
1.7. Justificación de la investigación.....	6
1.7.1. Importancia de la investigación	6
1.7.2. Viabilidad de la investigación.....	7
1.8. Limitaciones del estudio.....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la Investigación	9
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Fundamentos de Campos Electromagnéticos	11
a. Campo Eléctrico	11
b. Campo Magnético.....	12
c. Campo Electromagnético	13

2.2.2.	Fundamentos de Radiaciones.....	16
a.	Radiación Ionizante	16
b.	Radiación No Ionizante (RNI).....	17
2.2.3.	Fundamentos de antenas	18
2.2.3.1.	Antena.....	18
2.2.3.2.	Patrón de Radiación de Antenas	18
a.	Azimut	19
b.	Down-tilt.....	19
2.2.4.	Lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de RNI.....	20
2.2.4.1.	Métodos predictivos	20
a.	Determinación de la longitud eléctrica de la antena.....	20
b.	Determinación de las regiones de campo electromagnético.....	21
c.	Estimación de los valores de intensidad de campo y/o densidad de potencia 22	
2.2.5.	Normatividad de las Radiaciones No Ionizantes en el sector de Telecomunicaciones.....	29
2.2.6.	Normativa de RNI en el Perú.....	34
a.	Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA).....	34
b.	Normas técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.....	36
c.	Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA).....	38
2.2.7.	Protocolos de Medición de Radiaciones No Ionizantes.....	41
2.2.7.1.	Métodos de Medición	41
a.	Medición Preliminar	41
b.	Medición Selectiva	43
c.	Medición Detallada.....	44
2.2.8.	Fundamentos de edificaciones	47
2.2.8.1.	Categoría de las edificaciones	47
a.	Edificaciones esenciales	47
b.	Edificaciones importantes.....	48
c.	Edificaciones comunes	48
d.	Edificaciones temporales.....	48
2.3.	Definición de términos básicos	49

CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS	53
3.1. Material	54
3.1.1. Población y muestra.....	54
3.1.2. Unidad de Análisis	54
3.2. Método	54
3.2.1. Nivel de Investigación	54
3.2.2. Diseño de Investigación.....	55
3.2.3. Variables de estudio y operacionalización.....	56
3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	58
3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos y análisis de datos.....	85
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	 108
4.1. Resultados	109
4.2. Discusión de resultados	110
 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 111
5.1. Conclusiones	112
5.2. Recomendaciones.....	113
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 114
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Líneas de Campo Eléctrico correspondientes a cargas iguales y opuestas. .	12
Figura N° 2.2. Campo Magnético ejercido entre dos cargas opuestas	13
Figura N° 2.3. Clasificación de las Radiaciones en el Espectro Electromagnético	16
Figura N° 2.4. Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de una antena	19
Figura N° 2.5. Parámetros que intervienen en la estimación RNI.....	28
Figura N° 3.1. Plano de Ubicación de la Estación Movistar Larco	58
Figura N° 3.2. Sectorización 2G de la Estación Movistar Larco en la Urb. San Andrés	59
Figura N° 3.3. Sectorización 3G de la Estación Movistar Larco en la Urb. San Andrés	59
Figura N° 3.4. Estructura de un Nodo B del Operador Móvil	61
Figura N° 3.5. Tarjetas que conforman la BBU 3900.....	62
Figura N° 3.6. Tarjeta WMPT	63
Figura N° 3.7. Tarjeta GTMU	64
Figura N° 3.8. Tarjeta WBBP	64
Figura N° 3.9. Tarjeta UPEU.....	65
Figura N° 3.10. RRU (Radio Remote Unit).....	66
Figura N° 3.11. Presentación del HELIAX AVA5-50FX de 7/8” - Andrew	69
Figura N° 3.12. Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM.....	72
Figura N° 3.13. Patrones Azimutales de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM.....	75
Figura N° 3.14. Patrones Verticales de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM.....	76
Figura N° 3.15. Patrones Horizontales RET de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM77	
Figura N° 3.16. Radial 0 en la Estación Movistar Larco	78
Figura N° 3.17. Ubicación de Radiales en la Estación Movistar Larco	79
Figura N° 3.18. Alrededores de la Antena Movistar Larco	79
Figura N° 3.19. Antena Movistar Larco	80
Figura N° 3.20. Contraste de información realizando visitas de campo.....	80
Figura N° 3.21. Toma de datos en los alrededores de Estación Larco	81
Figura N° 3.22. Diagrama de alturas para el Radial 0	83
Figura N° 3.23. Diagrama de alturas para el Radial 90	83
Figura N° 3.24. Datos de la Antena Larco.....	85
Figura N° 3.25. Datos de la Antena Larco para 2 G – Sector 1, 2, 3.....	87
Figura N° 3.26. Datos de la Antena Larco para 3 G – Sector 1, 2, 3.....	87

Figura N° 3.27. Descripción gráfica del cálculo del ángulo de declinación vertical.....	90
Figura N° 3.28. Descripción gráfica del cálculo del ángulo de desviación horizontal.....	91
Figura N° 3.29. Caso común de exposición de densidad de potencia	93
Figura N° 3.30. Caso particular de exposición de densidad de potencia.....	94
Figura N° 3.31. Gráfico Radial 2 – Sector 1	95
Figura N° 3.32. Gráfico Radial 68 – Sector 2.....	95
Figura N° 3.33. Gráfico Radial 6 – Sector 3.....	96
Figura N° 3.34. Gráfico Radial 3 – Sector 1.....	97
Figura N° 3.35. Gráfico Radial 9 – Sector 2.....	97
Figura N° 3.36. Gráfico Radial 12 – Sector 3.....	98
Figura N° 3.37. Selección de alturas máximas en el Radial 14	99
Figura N° 3.38. Curva de densidad de potencia máxima en 2G.....	102
Figura N° 3.39. Curva de densidad de potencia máxima en 3G.....	104
Figura N° 3.40. Curva de densidad de potencia máxima global.....	106
Figura N° 3.41. Gráfico de densidad de potencia máxima global	107
Figura N° 3.42. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 1 en 2G	122
Figura N° 3.43. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 2 en 2G.....	124
Figura N° 3.44. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 3 en 2G	126
Figura N° 3.45. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 1 en 3G.....	128
Figura N° 3.46. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 2 en 3G	130
Figura N° 3.47. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 3 en 3G	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Frecuencias del Espectro Electromagnético.....	15
Tabla N° 2.2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para RNI.....	35
Tabla N° 2.3. Niveles de Referencia para Exposición Ocupacional.....	36
Tabla N° 2.4. Niveles de Referencia para Exposición Poblacional.....	37
Tabla N° 2.5. Magnitudes Físicas para el cálculo de RNI.	37
Tabla N° 3.1. Operacionalización de la Variable Independiente.....	57
Tabla N° 3.2. Operacionalización de la Variable Dependiente	57
Tabla N° 3.3. Resumen de parámetros de la Estación Movistar Larco	60
Tabla N° 3.4. Bandas de Frecuencias del RRU3908 V1	67
Tabla N° 3.5. Potencia de salida del RRU3908 V1	68
Tabla N° 3.6. Características Técnicas del HELIAX AVA5-50FX de 7/8”	71
Tabla N° 3.7. Características Técnicas de la Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM	74
Tabla N° 3.8. Extracto de alturas de los Radiales (R0 - R90)	82
Tabla N° 3.9. Bandas de 824 – 849 MHz y 869 – 894 MHz.....	84
Tabla N° 3.10. Extracto Tablas de datos del Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de la Antena Sectorial para 2G	86
Tabla N° 3.11. Extracto Tablas de datos del Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de la Antena Sectorial para 3G	86
Tabla N° 3.12. Parámetros de la Hoja de Procesamiento de información.....	92
Tabla N° 3.13. Clasificación de edificaciones según la altura.....	99
Tabla N° 3.14. Extracto de la Clasificación de Edificaciones según la altura.....	100
Tabla N° 3.15. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia en 2G.....	101
Tabla N° 3.16. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia en 3G.....	103
Tabla N° 3.17. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia global	105
Tabla N° 3.18. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 1	121
Tabla N° 3.19. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 2	123
Tabla N° 3.20. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 3	125
Tabla N° 3.21. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 1	127
Tabla N° 3.22. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 2	129
Tabla N° 3.23. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 3	131

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Avendaño et al. (2013) define Radiación No Ionizante como 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 directa. Este tipo de radiación se caracteriza por tener longitudes de onda largas y frecuencias cortas.

Las radiaciones no ionizantes (RNI) se miden básicamente por tres parámetros: campo eléctrico, campo magnético, y densidad de potencia. En el presente trabajo se tomara como referencia la densidad de potencia como componente de la radiación no ionizante.

El tema de radiaciones no ionizantes es un tema controversial y una preocupación a nivel global, debido a la relación que suele adjudicarse a percepciones de malestar en la población por el crecimiento de las comunicaciones móviles en los últimos años.

Según el portal de INICTEL (2016), en el Perú, se ha realizado un estudio del campo eléctrico llegando en el caso de la ciudad de Trujillo a realizarse únicamente 04 mediciones. De acuerdo a las mediciones de radiaciones electromagnéticas no ionizantes efectuadas por el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones - INICTEL en las ciudades de Piura, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, Ica, Arequipa, Huancayo, Cusco, Iquitos y Lima, la gran mayoría de los valores medidos cumplen con las recomendaciones del ICNIRP (International Commission for Non Ionizing Radiation Protection). Así, se comprobó que los valores del campo eléctrico máximos están dados por los servicios de radiodifusión sonora en FM y radiodifusión por televisión que operan con altas potencias, mientras que los valores producidos por las estaciones de servicios móviles alcanzan tan solo el 1,5% de las recomendaciones del ICNIRP.

En tanto, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) ante el rechazo social que origina la instalación de una nueva estación celular, se encuentra en constante campaña por concientizar a la población por la necesidad de más estaciones para un mejor servicio, esperando reducir la desinformación de las autoridades y público en general sobre las radiaciones no ionizantes.

En términos generales, el problema de las Radiaciones No Ionizantes de las telecomunicaciones en el Perú es un problema de percepción de riesgo, por lo que para el manejo de la alarma social se recomienda mantener una campaña masiva de difusión del tema de las RNI con el objetivo de evitar las falsas percepciones de riesgo y aplicar políticas de precaución coherentes con la probabilidad y magnitud del posible daño.

Actualmente, en la ciudad de Trujillo existe una zona en particular en donde se presenta una gran percepción de riesgo a la exposición de radiación en las edificaciones de las áreas circundantes a la estación central del operador celular Movistar. La zona de la urbanización San Andrés circundante a la estación central de Movistar se caracteriza por la presencia de colegios, academias pre universitarias, condominios con presencia de múltiples viviendas, departamentos y establecimientos comerciales que generan una importante concentración de población en la zona.

Para indagar sobre la percepción de riesgo a la exposición de radiación en las edificaciones de esta zona, se realizó una encuesta a las viviendas circundantes en la que se evidencia la percepción que tiene la población acerca de la radiación que recibe un edificio, en comparación con una vivienda común o un área abierta y la desinformación en cuanto a la exposición que genera su operación.

Si bien es cierto se ha determinado en estudios previos que las mediciones de radiación no ionizante no superan los límites máximos permisibles, no se tiene referencia de un estudio que haya evaluado la diferencia entre los niveles de densidad de potencia alcanzados según la altura de las edificaciones en la Urb. San Andrés de la ciudad de Trujillo.

1.2. Delimitación del problema

El problema se enfoca en la diferenciación de los niveles de densidad de potencia según la altura de la edificación, tomando como caso de estudio la exposición generada por la estación Movistar Larco sobre la población de la Urb. San Andrés.

1.3. Características y análisis del problema

- a. Incertidumbre respecto a la exposición a los niveles de densidad de potencia que genera la operación de la estación celular Movistar Larco en la zona de la Urb. San Andrés según la altura de la edificación.
- b. Percepción de mayor riesgo a exposición de radiación, en residentes de edificios circundantes a la estación Movistar Larco del distrito de Trujillo.

Análisis de Características:

- a. De acuerdo a la “*Norma Técnica Lineamientos para el desarrollo de los estudios teóricos de radiaciones no ionizantes*” MTC (2004), la exposición a los niveles de densidad de potencia se encuentra en función del patrón horizontal y vertical del sistema radiante, donde intervienen la altura del punto de radiación (antena) y la altura a la que se encuentra ubicada la persona. En este orden de ideas, se tendría una diferencia entre la exposición de la población que habita viviendas comunes, respecto de aquellas que habitan condominios de varios pisos de altura, de esta forma existirá una gran diferencia en el caso de tratarse de áreas abiertas de concentración de población.

Así mismo, el cálculo de los campos producidos por diversos tipos de antenas de transmisión, sin considerar el patrón de radiación de éstas, no toma en cuenta la información correspondiente a la direccionalidad de la radiación por parte de la antena.

En el caso de la Urb. San Andrés se tiene edificaciones de diversas características, edificios, viviendas comunes y áreas abiertas de acceso público, los cuales presentan diferencias en la exposición de niveles de densidad de potencia a la que estarán sometidos.

- b. Según la encuesta realizada en la Urbanización San Andrés, a una muestra de 100 viviendas, el 80 % de los encuestados, tiene una percepción de que los edificios

tienen una mayor exposición a la radiación en comparación a una vivienda común o un área abierta.

El 100 % de los encuestados manifestó estar desinformado y desconocer el nivel de radiación al que está expuesto por la operación de la Estación Movistar Larco, asimismo la totalidad de los encuestados manifestó su interés por conocer el nivel de radiaciones no ionizantes a los que se encuentran expuestos. Un mayor detalle de los resultados de esta encuesta se puede ver en el Anexo 1.

1.4. Formulación del problema

¿De qué manera se diferencian los niveles de densidad de potencia estimados según la altura de las edificaciones circundantes a la estación celular Movistar Larco en la Urbanización San Andrés, Distrito de Trujillo?

1.5. Formulación de la Hipótesis

Existen diferencias significativas entre los niveles de densidad de potencia de acuerdo a las diferentes alturas de las edificaciones circundantes a la estación Movistar Larco en la Urbanización San Andrés, distrito de Trujillo.

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo General

Determinar la existencia de diferencias significativas en los niveles de densidad de potencia estimados según la altura de las edificaciones circundantes a la Estación Movistar Larco en la zona de la Urbanización San Andrés en el distrito de Trujillo.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Describir los procedimientos para la realización de estudios teóricos de radiaciones no ionizantes de acuerdo a la normativa vigente en nuestro país.
- Determinar las características técnicas de los equipos empleados en la estación Movistar Larco.
- Estimar los niveles de densidad de potencia recibidos en la zona de cobertura de la estación Movistar Larco en la Urbanización San Andrés, clasificándolos según la altura de la edificación.
- Estimar las diferencias entre niveles de densidad de potencia clasificados de acuerdo a la altura de la edificación circundante a la estación Movistar Larco en la Urbanización San Andrés.

1.7. Justificación de la investigación

1.7.1. Importancia de la investigación

La necesidad de los operadores por instalar más estaciones base, implica que primeramente se deben presentar documentos al MTC, en donde se indique que la contribución de campos electromagnéticos de la nueva instalación no superará los Límites Máximos Permisibles, además las municipalidades también exigen estos documentos, debido a la alarma social y percepción de riesgo. Por lo tanto, el estudio comparativo de los niveles de densidad de potencia según la altura de la edificación contribuirá en los siguientes aspectos:

❖ Académica

El presente trabajo servirá como antecedente para futuros trabajos de investigación sobre los niveles de densidad de potencia según la altura de la edificación, en casos de Telefonía Celular y cuyos resultados son posibles

de aplicar a otras frecuencias UHF tales como las usadas por radio, televisión y microondas.

❖ Social

La investigación se justifica socialmente porque propone un estudio que estará disponible para dar a conocer a la población, la importancia de las Estaciones del Servicio de Telefonía, con la finalidad de reducir la percepción de riesgo por la falta de información en lo que respecta a los niveles de densidad de potencia que irradian las estaciones base a las edificaciones.

1.7.2. Viabilidad de la investigación

Se plantea que se cuenta con los recursos humanos, financieros, materiales, y de tiempo, acceso a la información y conocimientos; entre otros que son necesarios para desarrollar la tesis.

1.8. Limitaciones del estudio

- Solamente se realizarán estimaciones teóricas y comparaciones en base a los lineamientos para la realización de estudios de radiaciones no ionizantes establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Las estimaciones únicamente estarán relacionados a los niveles de densidad de potencia presentes en los sistemas 2G y 3G de la Estación Movistar Larco, en la banda de 850 MHz.
- No se indagará, concluirá ni recomendará sobre los efectos de la radiación sobre la salud de las personas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

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

a. “Análisis Técnico de las Radiaciones Electromagnéticas emitidas por las antenas de las Radiobases celulares en la ciudad de Guayaquil”

Avendaño, J.; Gonzaga, K.; Ruiz, J. (2013)

En el estudio realizado por Avendaño et al. de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, se propuso como objetivo principal, comprobar que las radiaciones electromagnéticas emitidas por las antenas de las Radio bases Celulares instaladas en la ciudad de Guayaquil, cumplan con las leyes, reglamentos y normas, establecidas por la entidades internacionales que garantizan la seguridad de las emisiones Radioeléctricas. Su estudio concluyó que las Radio bases Celulares cumplen con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia establecidos por la Ley Especial de Telecomunicaciones. Determinando que mientras mayor tiempo esté operando la antena, se tendrá un mayor valor significativo en la densidad de potencia de la misma. El aporte principal al trabajo de investigación es que indistintamente de las frecuencias en las que opera una antena debe cumplir con los niveles de densidad de potencia de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la ICNIRP, evitando así un impacto ambiental en la salud de las personas.

b. “Estudio de Radiaciones No Ionizantes para una Estación base GSM 850 MHz ubicada en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo”

Ríos Solar, Jorge (2013)

La investigación realizada por Jorge Ríos de la Universidad Privada Antenor Orrego, en Trujillo, nos muestra 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. De acuerdo al análisis realizado de las radiaciones electromagnéticas emitidas por las estaciones celulares 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. Tomando como aporte a nuestro trabajo de investigación las ecuaciones básicas empleadas en los cálculos teóricos de Radiaciones No Ionizantes.

c. “Estudio estadístico comparativo sobre Emisiones No Ionizantes emitidas por Radio bases de telefonía celular y estaciones transmisoras de radio y televisión en la ciudad de Riobamba”

Tubón Usca, Gabriela (2010)

El estudio realizado por Gabriela Tubón de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Riobamba, estableció como objetivo: realizar el estudio estadístico comparativo sobre emisiones no ionizantes emitidas por radio bases de Telefonía Celular y estaciones Transmisoras de Radio y Televisión utilizando el equipo seleccionador de Bandas en frecuencia NARDA SRM – 3000, desarrollado específicamente para monitorear RNI. Concluyendo que los niveles reales de Radiación No Ionizante emitidos por las Estaciones Transmisoras de Radio y Televisión son menores a las emitidas por las Radio bases de Telefonía Celular, aun así sus valores están por debajo de los límites permitidos, destacando que mientras más se esté cerca de la fuente de radiación mayor será el valor de RNI. El aporte principal al trabajo de investigación, es tomar en cuenta el máximo entre campo lejano y campo cercano, este valor muestra el punto óptimo para tomar las muestras en dirección de las antenas o paneles según sea el caso para realizar una evaluación correcta de aporte de RNI.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos de Campos Electromagnéticos

a. Campo Eléctrico

Según Sears, F. en su libro “*Física Universitaria Vol. 2.* (2009, p. 721-723), los fenómenos electrostáticos ocurren 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 mismas.

Se describe al campo eléctrico, como un campo vectorial en el cual una carga eléctrica puntual de valor q sufre los efectos de una fuerza eléctrica \vec{F} .

El libro titulado “*Física para la ciencia y la tecnología Vol. 2*” de Tipler y Mosca (2010, p. 616), el concepto de campo eléctrico se refiere a la fuerza eléctrica ejercida por una carga sobre otra, es un ejemplo de acción a distancia semejante a la fuerza gravitatoria ejercida por una masa sobre otra. 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:

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

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).

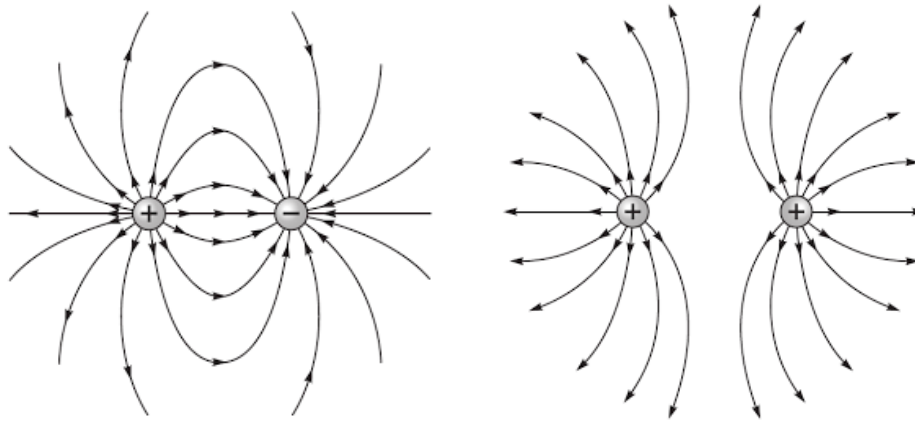


Figura N° 2.1. Líneas de Campo Eléctrico correspondientes a cargas iguales y opuestas.

Fuente: Física general, Burbano de Ercilla S., et. al (2003, pág.407)

b. Campo Magnético

El campo magnético es una región del espacio en la cual una carga eléctrica puntual que se desplaza, sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular a su desplazamiento. 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 movimiento.

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

$$\vec{F} = q\vec{v} \times B \quad \dots (02)$$

Donde:

\vec{F} : Fuerza magnética.

q : Carga magnética (T).

v : Velocidad (m/s).

B : Campo Magnético (A/m).

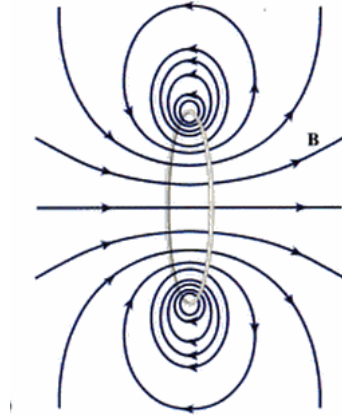


Figura N° 2.2. Campo Magnético ejercido entre dos cargas opuestas

Fuente: Física para la ciencia y la tecnología, Tipler, Paul A. y Mosca, G. Vol 2 (2010, pág. 797)

c. 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, p. 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 ($c = 300\,000\text{ Km/s}$).

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{F}) 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, p. 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:

$$c = \lambda f \quad \dots (03)$$

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 N° 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.

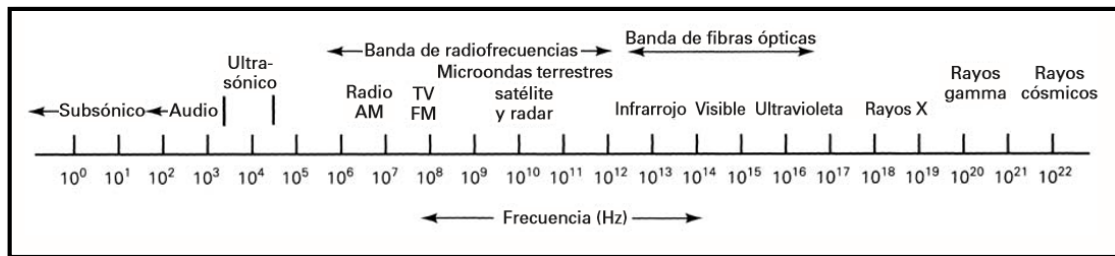


Figura N° 2.3. Clasificación de las Radiaciones en el Espectro Electromagnético

Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wayne Tomasi (2003, pág. 5)

2.2.2. Fundamentos de Radiaciones

Radiación:

Según Ornetta, V. (2005, p. 5) en su informe *“La Telefonía Móvil y su Salud”* define radiación como una forma de energía en movimiento. La radiación de los sistemas de comunicaciones móviles es de naturaleza electromagnética es decir consiste de ondas de energía eléctrica y magnética moviéndose juntas a través del espacio a la velocidad de la luz. Vivimos en un mundo de radiación y estamos expuestos a radiación natural y la provocada por el hombre. Cada segundo de nuestras vidas estamos expuestos a todas las formas de radiación tales como la luz ultravioleta, la luz del sol, ondas de la radio y la televisión. También cuando nos tomamos una placa radiográfica estamos expuestos a la radiación X.

Hay dos tipos de radiación:

a. Radiación Ionizante

Contienen suficiente energía para causar ionización. Ionización es un proceso por el cual los electrones se separan de los átomos o moléculas. Su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo lo que lleva a daño en tejidos biológicos incluyendo efectos sobre DNA (ácido desoxi-ribonucleico) - el material genético del cuerpo humano. Los rayos gamma y los rayos x son dos formas de radiación ionizante.

b. Radiación No Ionizante (RNI)

No tienen suficiente energía para causar ionización en la materia viviente. Esta radiación causa un efecto de calentamiento pero usualmente no suficiente para causar algún daño perenne en los tejidos. La energía de radiofrecuencia, las microondas, los rayos infrarrojos y la luz visible son radiaciones no ionizantes. Para la misma intensidad la radiación ionizante tiene una capacidad mucho mayor que la no ionizante para causar daños a la salud. 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.

2.2.3. Fundamentos de antenas

2.2.3.1. 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 viceversa

Según el Libro “*Introduction to RF Propagation*” de J. Seybold (2005, p. 38) considera a la antena como un radiador y receptor 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 dé a las ondas electromagnéticas se podrá establecer comunicación de la siguiente manera: punto a punto, punto multipunto, etc.

El autor W. Tomasi, en su libro titulado “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” (2003, p. 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”.

2.2.3.2. 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, p. 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 azimut (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 fija. Dentro de este concepto se encuentran elementos importantes que se deben de definir: los conceptos de ángulo de elevación (tilt) y el ángulo de azimut.

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 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 hacia abajo para el cálculo de los ángulos de las antenas.

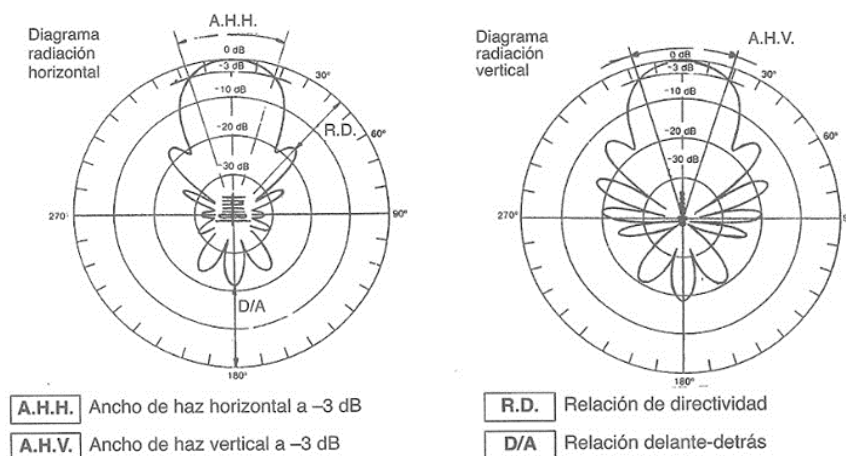


Figura N° 2.4. Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de una antena

Fuente: Instalación de antenas de televisión, Isidoro Berral Montero (2007, pág. 8)

2.2.4. Lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de RNI

2.2.4.1. Métodos predictivos

Los métodos predictivos permiten la evaluación teórica de la intensidad de campo o de la densidad de potencia según sea requerido.

El desarrollo de los métodos predictivos comprende:

- Determinación de la longitud eléctrica de la antena.
- Determinación de las regiones de campo electromagnético.
- Estimación de los valores de intensidad de campo eléctrico E y de campo magnético H o de la densidad de potencia.

a. Determinación de la longitud eléctrica de la antena

Se considera dos tipos de antenas de acuerdo a sus dimensiones físicas, donde la dimensión máxima de la antena, es comparada con la longitud de onda respecto a la frecuencia de transmisión. Estas antenas son:

- Antenas pequeñas , si $D < \lambda$.
- Antenas grandes , si $D \geq \lambda$.

Donde:

D = Máxima dimensión lineal de la antena (m); diagonal en el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular. En caso de arreglo, es la longitud máxima del arreglo.

$$\lambda = \text{Longitud de onda (m)} \quad \dots (04)$$

b. Determinación de las regiones de campo electromagnético

En el desarrollo de los estudios teóricos, es necesario conocer la extensión de las regiones "del campo electromagnético de una antena. Estas regiones, definidas en el Decreto Supremo N° 038- 2003-MTC son:

- Región de Campo Cercano
- Región de Campo Lejano

Para determinar la ubicación del punto en evaluación respecto a "las regiones del campo electromagnético de una antena, se debe calcular la distancia donde se encuentra el límite entre ambas regiones; esta distancia varía de acuerdo al tipo de antena, según se especifica a continuación:

- ✓ **Antenas pequeñas:** La distancia hasta donde se extiende el campo cercano es calculada con la fórmula siguiente:

$$R_{cc} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad \dots (05)$$

Donde:

λ = longitud de onda (m)

R_{cc} = Extensión lineal del campo cercano e inicio del campo lejano (m)

- ✓ **Antenas grandes:** Se subdivide el campo cercano en dos regiones, la región de campo cercano reactivo y la región de campo cercano radiante. Las distancias entre los límites de las regiones de campo cercano reactivo, campo cercano radiante y campo lejano son las siguientes:

Límite entre la región de campo cercano reactivo y la región de campo cercano radiante:

$$R_{CCR} = \frac{0,25D^2}{\lambda} \quad \dots (06)$$

Límite entre la región de campo cercano radiante y la región de campo lejano:

$$R_{CC} = \frac{0,6D^2}{\lambda} \quad \dots (07)$$

En las fórmulas que anteceden tenemos:

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

R_{CCR} = Extensión lineal del 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)

c. Estimación de los valores de intensidad de campo y/o densidad de potencia

La determinación de los valores de intensidad de campo y/o densidad de potencia se lleva a cabo empleando:

- Fórmulas analíticas genéricas
- Fórmulas específicas para algunos tipos de antena
- Métodos computacionales.

c.1. Cálculo mediante fórmulas analíticas genéricas

Estas fórmulas estarán determinadas por la región de campo electromagnético donde se ubique el punto en evaluación.

c.1.1. Cálculo en el campo cercano

Para antenas pequeñas o en el caso de bajas frecuencias no hay una fórmula analítica genérica para estimar la intensidad de campo eléctrico o magnético en la región de campo cercano. Por esta razón se han desarrollado diversos métodos computacionales de acuerdo al tipo de antena empleada.

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

- **Cálculo en el campo cercano reactivo**

La magnitud de la densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo dentro del haz principal de una antena de apertura, varía de acuerdo a la ubicación dentro del campo cercano reactivo. El valor máximo está determinado por la fórmula:

$$S_{CCR} = \frac{16\eta P_1}{\pi D^2} \quad \dots(08)$$

Donde:

S_{CCR} = Máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²).

η = Eficiencia de la apertura, típicamente 0,5 0,75 (adimensional)

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)

La eficiencia de una antena con apertura circular puede estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$\eta = \frac{\left(\frac{g_t \lambda^2}{4\pi}\right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad \dots (09)$$

Donde:

g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

λ = Longitud de onda (m)

D = Diámetro de la apertura circular, (m)

η = Eficiencia para aperturas circulares (adimensional)

Si la ganancia de la antena no es conocida, está se calcula con la siguiente ecuación, utilizando el valor real o estimado para la eficiencia de la apertura de una antena:

$$g_t = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad \dots (10)$$

Donde:

η = Eficiencia de la apertura, típicamente 0,5 0,75 (adimensional)

g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

λ = Longitud de onda (m)

A = Área física de la antena (m²)

- **Cálculo en el campo cercano radiante**

La magnitud de la densidad de potencia en la región de campo cercano radiante (comprendido entre R_{CCR} y R_{CC}), dentro del haz principal de una antena de apertura, es determinada como sigue:

$$S_t = \frac{S_{CCR}R_{CCR}}{R} \quad \dots (11)$$

Donde:

S_{CCR} = Máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²)

S_t = Densidad de potencia dentro de la región de campo cercano radiante (W/ m²)

R_{CCR} = Extensión de la región de campo cercano reactivo e inicio del campo cercano radiante (m)

R = Distancia al punto de interés (m)

c.1.2. Cálculo en el campo lejano

En la región de campo lejano debido al comportamiento de onda plana se cumple la siguiente relación entre la intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia:

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{377} = 377 H^2 \quad \dots (12)$$

Donde:

S = Densidad de potencia (W / m²)

E = Intensidad de campo eléctrico en valor rms (V/m)

H = Intensidad de campo magnético en valor rms (A/m)

La intensidad del campo eléctrico en valor rms se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(30 \text{ pire})^{0.5}}{r} [V/m] \quad \dots (13)$$

La densidad de potencia se calcula por la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\text{pire}}{4\pi^2} [w/m^2] \quad \dots (14)$$

En las fórmulas mencionadas:

$$\text{pire} = P_t \times g_t \quad \dots (15)$$

Donde:

$pire$ = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (W)

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)

- **Predicción de los campos de radiofrecuencia en el haz principal**

La predicción de la densidad en el haz principal se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{P_t g_t}{4\pi r^2} \quad \dots (16)$$

Donde:

S = Densidad de Potencia (W/m²)

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)

Que se puede expresar como:

$$S = \frac{pire}{4\pi^2} [w/m^2] \quad \dots (17)$$

Donde:

$$pire = P_t x g_t \quad \dots (18)$$

La ganancia g_t se expresa en forma de ganancia numérica, por lo tanto si ella viene dada en términos logarítmicos, es decir, dB, debe realizarse la siguiente conversión para ser empleada en la ecuación anterior:

$$g_t = 10_{10}^{db} \quad \dots(19)$$

En muchos casos, la potencia de operación puede estar expresada en términos de potencia radiada efectiva o "pre" en vez de "pire". La "pre" se considera con referencia a un dipolo de media onda en lugar de un radiador isotrópico. La conversión se realiza multiplicando la "pre" por un factor igual a 1.64 (2,15 dB). Así tenemos:

$$S = \frac{pire}{4\pi r^2} = \frac{1.64 \, pire}{4\pi r^2} = \frac{0.41 \, pire}{\pi r^2} \quad \dots (20)$$

Para el caso de la predicción del valor de densidad de potencia cerca de una superficie, como es el caso de estaciones al nivel del piso, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA-Environmental Protection Agency) ha desarrollado modelos para predecir los niveles de la intensidad de campo y densidad de potencia cuando se analizan antenas de Televisión y FM. Resultado de ello se puede predecir que la magnitud del campo eléctrico aumenta su valor en 1,6 veces debido a la reflexión y por tanto se tendría que la densidad de potencia aumenta a 2,56 veces (1,62). En este caso la ecuación para la densidad de potencia quedaría modificada de la siguiente manera:

$$S = \frac{2.56 \, pire}{4\pi r^2} = \frac{0.64 \, pire}{4\pi r^2} = \frac{1.05 \, pire}{\pi r^2} \quad \dots (21)$$

- **Predicción de los campos de radiofrecuencia fuera del haz principal**

Las ecuaciones a las que se refiere en la viñeta anterior predicción de los campos de radiofrecuencia en el haz principal pueden emplearse para el cálculo de los campos producidos por diversos tipos de antenas de transmisión, pero no considera el patrón de radiación de éstas, es decir, no se toma en cuenta la información correspondiente a la direccionalidad de la radiación por parte de la antena.

Para una antena, la densidad de potencia irradiada en la dirección descrita por los ángulos θ (ángulo de elevación) y ϕ (ángulo de azimut) pueden evaluarse por la expresión siguiente:

$$S_{(r,\theta,\phi)} = k^2 \frac{pire}{4\pi r^2} F_{(\theta,\phi)} \quad \dots (22)$$

Donde:

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

K = Es el factor de aumento de la intensidad de campo eléctrico debido a la reflexión (adimensional).

Para la Ecuación 22, se deberá tener en consideración los siguientes valores para k^2 :

$k^2 = 1$; si las ondas reflejadas llegan todas atenuadas al punto de interés.

$k^2 = 2,56$; si las ondas reflejadas llegan al punto de interés en 60%.

$k^2 = 4$; si las ondas reflejadas llegan al punto de interés al 100% (peor caso)

A continuación se ilustra la configuración geométrica de las distancias y ángulos verticales.

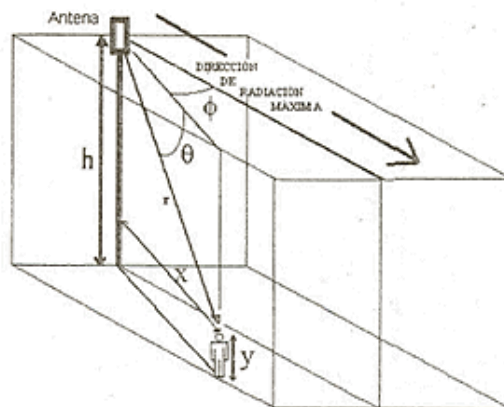


Figura N° 2.5. Parámetros que intervienen en la estimación RNI

Fuente: Lineamientos para la Realización de Estudios teóricos de RNI (MTC, 2004)

2.2.5. Normatividad de las Radiaciones No Ionizantes en el sector de Telecomunicaciones

Entre las instituciones mundiales más importantes destacan:

❖ La Organización Mundial de la Salud – OMS

Organización Mundial de la Salud es quién define normas y recomendaciones a nivel mundial, particularmente para las RNI, se basa en los estudios y niveles definidos por el ICNIRP.

OMS posee el Proyecto CEM (Campos Electromagnéticos), el cual tiene como objetivo evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz.

❖ La Comisión Internacional sobre Protección de Radiaciones No Ionizantes - ICNIRP

Es una entidad que siguiendo los criterios de evaluación de efectos a las salud de la OMS ha desarrollado una recomendación para los Límites Máximos Permisibles de exposición a Radiaciones No Ionizantes que ha sido adoptada como Límites Máximos Permisibles por cerca de 30 países en todo el mundo incluyendo el Perú.

ICNIRP es una organización independiente, la cual se caracteriza por:

- Proporciona orientación y consejo sobre los peligros en la salud provenientes de la radiación no ionizante.
- Desarrolla recomendaciones internacionales para limitar la exposición a la radiación no ionizante que son independientes y basadas en la ciencia.
- Proporciona orientación basada en la ciencia y recomendaciones sobre la protección contra la exposición a la radiación no ionizante.

❖ **La Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT**

Es un organismo especializado de las Naciones Unidas que se encarga de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y en ese sentido, se encarga de atribuir el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial; y, elaborar normas técnicas que garanticen la interconexión continua de las redes y las tecnologías en todo el mundo.

Se caracteriza por:

- Aportar un marco de alto nivel para la gestión de la exposición humana a los Campos Electromagnéticos (prácticas regulatorias) emitidas por los equipos de telecomunicaciones.
- Proporcionar directrices para la evaluación de la exposición humana basadas en las normas y recomendaciones existentes.
- Actividades especificadas en la Resolución 72 de la Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (Johannesburgo, 2008), con el fin de ayudar a los países en desarrollo en la evaluación de la exposición humana.

Principales recomendaciones UIT para RNI

- **UIT-T K.52:** “Directrices sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”
- **UIT-T K.61:** “Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas”
- **UIT-T K.62:** “Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos”

- **UIT-T K.70:** “Técnicas de mitigación para limitar la exposición de las personas a los CEM en cercanías a estaciones de radiocomunicaciones”
- **UIT-T K.83:** “Monitoreo de los niveles de intensidad de los campos electromagnéticos”
- **UIT-T K.90:** “Técnicas de evaluación y procedimientos de trabajo para el cumplimiento de los límites de exposición del personal de los operadores de redes a los campos electromagnéticos”
- **UIT-T K.91:** “Directrices sobre la valoración, la evaluación y el monitoreo de la exposición de las personas a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias”
- **UIT-R BS.1698:** Evaluación de los campos procedentes de los sistemas de transmisión de radiodifusión terrenal que funcionan en cualquier banda de frecuencias para determinar la exposición a radiaciones no ionizantes.

❖ **La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL)**

Este organismo, dependiente de la Organización de los Estados Americanos (OEA) ha emitido la recomendación CCP.II/REC.15 (VI-05). La misma fue formulada a través de su Grupo de Trabajo Relativo a los Aspectos Técnicos y Regulatorios de los efectos de las Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes, y básicamente aconseja ajustarse a las recomendaciones de la OMS, UIT y la ICNIRP.

CITEL tiene como misión principal facilitar y promover el desarrollo integral y sostenible de telecomunicaciones/TIC interoperables, innovadoras y fiables en las Américas, bajo principios de universalidad, equidad y asequibilidad.

❖ **La Asociación Internacional de Protección a las Radiaciones (IRPA)**

El propósito principal de la IRPA es proporcionar un medio por el cual quienes se dedican a actividades de protección radiológica en todos los países pueden comunicarse más fácilmente entre sí, y a través de este proceso de protección contra las radiaciones, se genere un avance en muchas partes del mundo. Esto incluye aspectos relevantes de estas ramas de conocimiento como la ciencia, la medicina, la ingeniería, la tecnología y la ley, para prever la protección del ser humano y su medio ambiente contra los riesgos provocados por la radiación, y por lo tanto para facilitar el uso seguro de médicos, científicos, y prácticas radiológicas industriales para beneficio de la humanidad.

Entre los objetivos de la IRPA destacan:

- Prever y apoyar las reuniones internacionales para la discusión de todos los aspectos de la protección radiológica.
- Alentar a las publicaciones internacionales dedicadas a la protección contra las radiaciones.
- Fomentar el establecimiento y la revisión continua de las normas o recomendaciones de protección radiológica universalmente aceptables a través de los organismos internacionales interesados.

❖ **El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)**

Es una organización que desarrolla investigación en todos los temas relacionado a la Ingeniería Eléctrica y Electrónica que ha abordado el tema de los CEM (Campos Electromagnéticos), habiendo desarrollado una recomendación sobre límites máximos de exposición, que tiene valores muy parecidos a los valores ICNIRP y que también ha servido de base para los Límites Máximos Permisibles en muchos países.

❖ **La Organización de los Estados Americanos (OEA)**

En la XXII REUNIÓN DEL COMITÉ CONSULTIVO PERMANENTE II: RADIOCOMUNICACIONES INCLUYENDO RADIODIFUSIÓN, realizada del 4 al 8 de noviembre de 2013, en Managua, Nicaragua emitió la siguiente:

Recomendación:

Que los Estados Miembros que tengan dificultades en el despliegue de antenas e infraestructuras asociadas por aversión popular a las RNI, desarrollen Mapas de Radiación y Sistemas de Monitoreo Continuo basados en la Recomendación UIT-TK.83 como herramienta de comunicación y gestión de la aceptación social al despliegue de antenas.

❖ **La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (IEC)**

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es la principal organización del mundo que elabora y publica normas internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas.

La IEC es una de las tres organizaciones hermanas globales (IEC, ISO, ITU) que se desarrollan las Normas Internacionales para el mundo.

2.2.6. Normativa de RNI en el Perú

a. Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA)

Los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes son instrumentos de gestión ambiental prioritarios para prevenir y planificar el control de la contaminación por radiaciones no ionizantes sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible.

En el Perú se ha establecido Estándares de Calidad Ambiental de Radiaciones No Ionizantes mediante el Decreto Supremo N° 010-2005-PCM publicado el 03 de febrero del 2005 en el Diario Oficial El Peruano. Dichos estándares de calidad ambiental adoptan las recomendaciones de la “International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection” (ICNIRP) para el rango de frecuencias entre 9 KHz y 300 GHz.

Tabla N° 2.2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para RNI

Rango de frecuencias (f)	Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidad de Flujo Magnético (B) (μT)	Densidad de Potencia (S_{eq})(W/ m^2)	Principales aplicaciones (no restrictiva)
Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-	Líneas de energía para trenes eléctricos, resonancia magnética.
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 f$	$4 \times 10^4 f^2$	-	
8 – 25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	-	Líneas de energía para trenes eléctricos
0,025-0,8 KHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-	Redes de energía eléctrica, líneas de energía para trenes, monitores de video.
0,8-3 KHz	$250/f$	5	6,25	-	Monitores de video
3-150 KHz	87	5	6,25	-	Monitores de video
0,15-1MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-	Radio AM
1-10 MHz	$87/f^{05}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-	Radio AM, diatermia
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2	Radio FM, TV VHF, Sistemas móviles y de radionavegación aeronáutica, teléfonos inalámbricos, resonancias magnéticas, diatermia.
400-2000 MHz	$1,375 f^{05}$	$0,0037 f^{05}$	$0,0046 f^{05}$	$f/200$	TV UHF, telefónica móvil celular, servicio móvil satelital, teléfonos inalámbricos, sistemas de comunicación personal
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10	Redes de telefonía inalámbrica , comunicaciones por microondas y vía satélite, radares, hornos microondas

Fuente: Estándares de calidad Ambiental (2005, pág. 286063)

1. f está en la frecuencia que se indica en la columna Rango de Frecuencias
2. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier período de 6 minutos.
3. Para frecuencias por encima de 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier período de $68/f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

b. 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 de la Urb. San Andrés – Trujillo.

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

El Decreto Supremo N° 038-2003-MTC sobre Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, 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 GHz.

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 N° 2.3. 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/m²)
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	3 f ^{0.5}	0.008 f ^{0.5}	f/40
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: Límites Máximos Permisibles de RNI (2003, 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 N° 2.4. 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 RNI (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 Estación Movistar Larco – Trujillo.

Tabla N° 2.5. 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 RNI (2003, pág. 247643)

c. Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA)

Según la Resolución Ministerial N° 186-2015-MINAM se presenta lo siguiente:

Artículo 1.- Modificar la “Primera Actualización del Listado de Inclusión de Proyectos de Inversión sujetos al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), considerados en el Anexo II del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM”, aprobada por Resolución Ministerial N° 157-2011-MINAM, en lo relativo al apartado del Sector Comunicaciones, manifestándose en los siguientes términos:

1. Proyecto de Infraestructura de telecomunicaciones (incluye las redes o infraestructuras de telecomunicaciones, sean éstas inalámbricas o radioeléctricas, como alámbricas o por cable).
2. Para el caso de proyectos de infraestructuras de servicios móviles (servicio de telefonía móvil, fija e internet) tipo poste están incluidas en este listado aquellas que cumplen con alguno de los siguientes criterios:
 - a. Que sus características no estén contempladas en las opciones de mimetización establecidas en el Decreto Supremo N° 003-2015-MTC.
 - b. Que se localicen dentro de Áreas Naturales Protegidas o en sus zonas de amortiguamiento o dentro de ecosistemas frágiles, en cumplimiento de la legislación de la materia.
 - c. Que el valor del cálculo teórico de Radiaciones No Ionizantes (RNI) de la infraestructura de telecomunicaciones supere el 50% del valor establecido como Límite Máximo Permisible de RNI en Telecomunicaciones para la exposición ocupacional o exposición poblacional, de acuerdo al Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

3. Para el caso de proyectos de infraestructuras de servicios móviles (servicio de telefonía móvil, fija e internet) tipo rooftop están incluidas en este listado aquellas que cumplen con alguno de los siguientes criterios:
 - a. Que sus características no estén contempladas en las opciones de mimetización establecidas en el Decreto Supremo N° 003-2015-MTC.
 - b. Que la altura del soporte y antena en su conjunto supera 2/3 de la altura de la edificación.
 - c. Que se localicen dentro de Áreas Naturales Protegidas o en sus zonas de amortiguamiento o dentro de ecosistemas frágiles, en cumplimiento de la legislación de la materia.
 - d. Que el valor del cálculo teórico de Radiaciones No Ionizantes (RNI) de la infraestructura de telecomunicaciones supere el 50% del valor establecido como Límite Máximo Permisible de RNI en Telecomunicaciones para la exposición ocupacional o exposición poblacional, de acuerdo al Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

4. Para el caso de proyectos de infraestructuras de servicios móviles (servicio de telefonía móvil, fija e internet) tipo greenfield están incluidas en este listado aquellas que cumplen con alguno de los siguientes criterios:
 - a. Que la altura del soporte y antena en su conjunto supera los 30 m. y que se localicen dentro de área urbana o expansión urbana.
 - b. Que se localicen dentro de Áreas Naturales Protegidas o en sus zonas de amortiguamiento o dentro de ecosistemas frágiles, en cumplimiento de la legislación de la materia.
 - c. Que el valor del cálculo teórico de Radiaciones No Ionizantes (RNI) de la infraestructura de telecomunicaciones supere el 50% del valor establecido como Límite Máximo Permisible de RNI en Telecomunicaciones para la

exposición ocupacional o exposición poblacional, de acuerdo al Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

Entiéndase que los proyectos de infraestructura de Telecomunicaciones consideran en su conjunto, los componentes principales, así como los auxiliares y complementarios.

Artículo 2.- Apruébese la Ficha Técnica para proyectos de infraestructuras de telecomunicaciones que no están sujetos al SEIA, que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Los titulares cuyos proyectos no estén sujetos al SEIA y no requieran de instrumentos de gestión ambiental, conforme a lo establecido en la presente resolución, deberán presentar la mencionada ficha técnica ante la autoridad ambiental competente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Con la ficha técnica presentada al Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el supuesto establecido en el párrafo precedente, se dará por cumplido el requisito de contar con instrumento de gestión ambiental en los expedientes para la obtención de autorización para la instalación de infraestructura de telecomunicaciones, a que se refiere el inciso f) del artículo 12 del Decreto Supremo N° 003-2015-MTC.

Artículo 3.- Los operadores de servicios móviles cuyas infraestructuras se encuentren o no sujetas al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) deberán cumplir con los monitoreos y mediciones periódicas de Radiaciones No Ionizantes, de conformidad con las disposiciones emitidas para el control de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental y demás normativas vigentes.

2.2.7. Protocolos de Medición de Radiaciones No Ionizantes

Según la Resolución Ministerial N° 613-2004-MTC-03, el Artículo 5 nos presenta:

2.2.7.1. Métodos de Medición

Los métodos de medición, involucran fijar los procedimientos, técnicas de medición y los equipos para efectuarlas.

Definimos tres casos de medición, los cuales determinan los métodos de medición que serán especificados en los casos mencionados a continuación:

- Caso 1: Medición Preliminar
- Caso 2: Medición Selectiva
- Caso 3: Medición Detallada

Dependiendo del equipamiento utilizado, se podrá optar por el método de medición a efectuar considerando las facilidades con que cuente el equipo para una medición preliminar, selectiva o detallada.

Los casos de medición no necesariamente resultarán ser un procedimiento consecutivo. Dependerá de la persona natural o jurídica registrada optar por el caso 1, 2 ó 3, teniendo en consideración las excepciones y resultados descritos seguidamente.

a. Medición Preliminar

El método de medición en este caso permitirá evaluar si en algún punto del entorno de la estación radioeléctrica hasta una distancia radial máxima de 100 metros respecto de la base del sistema irradiante, se exceden los límites máximos permisibles de exposición.

La técnica de medición empleada será de banda ancha para emisiones múltiples y podrá emplearse en el campo cercano y en el campo lejano de emplazamientos de telecomunicaciones.

No se debe aplicar este método de medición, cuando:

- Se necesite conocer el nivel de radiación no ionizante en una frecuencia específica.
- El valor medido por el equipo excede el nivel de decisión, necesitándose otro método de medida más preciso.

Equipos de medición

Un monitor portátil analizador de campo electromagnético con respuesta ponderada de acuerdo a lo especificado en el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC, operando en el rango de frecuencias comprendidas entre los 9 KHz a los 300 GHz.

Procedimiento

Se deberá verificar la calibración operativa del monitor y configurarlo para la detección de niveles mayores al nivel de umbral, fijado al 50% de los límites máximos permisibles, según se especifica a continuación:

- Para la evaluación de las áreas donde transita el público en general, el nivel de umbral deberá fijarse al 50% de los límites máximos permisibles para exposición poblacional.
- Para la evaluación de las áreas donde operan los equipos electrónicos de la estación radioeléctrica y/o transitan trabajadores, el nivel de umbral deberá fijarse al 50% de los límites máximos permisibles para exposición ocupacional.

El inspector portará el monitor con el cual recorrerá en forma discrecional el emplazamiento a evaluar hasta una distancia radial de 100 metros respecto a la base del sistema irradiante, para registrar los lugares donde se excede los límites máximos permisibles según el área en evaluación.

Si en todos los puntos de evaluación no se supera el nivel de umbral prefijado para el área bajo examen, no será necesario efectuar otra medición y el emplazamiento

cumplirá con la norma. En el caso contrario será necesario realizar la evaluación según se describe en la medición selectiva.

b. Medición Selectiva

Este método será aplicado cuando:

- Se requiera realizar evaluación de campo lejano.
- Se requiera conocer el nivel de emisión por frecuencia que existe en el emplazamiento.
- Se necesite determinar la contribución individual de las emisiones múltiples, que se encuentren presentes en el punto de medición.
- Cuando empleado el método para la medición preliminar, el valor obtenido excede el nivel de umbral.

La técnica de medición es de banda estrecha en el rango de frecuencia comprendida entre los 9 KHz a los 3 GHz. Para frecuencias mayores a los 3 GHz. referirse al método empleado en la medición detallada.

No se debe aplicar este método de medición, cuando:

- El emplazamiento está en la zona de campo cercano.
- Se requiere medir altos niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético.
- Se requiere medir emisiones pulsante, discontinuas o de banda ancha.

Equipo de medición

Equipos de medición tales como analizadores de espectro, analizadores de campo electromagnético y/o medidores de intensidad de campo utilizando sondas o antenas de banda angosta, con un rango de frecuencia de operación comprendido entre los 9 KHz a los 3 GHz.

Procedimiento

Todos los equipos de medición deberán ser puestos a cero y efectuar la calibración operativa correspondiente. En el caso de usar antenas, se tomará en cuenta el factor de pérdida de las mismas.

Se eligen los puntos de medición; eventualmente, se evaluarán los puntos que exceden el nivel de umbral de la Medición Preliminar. En cada punto de medición se ejecutará pro mediación temporal y espacial si fuera pertinente.

Las antenas y/o sondas de radiación electromagnética deberán encontrarse instaladas en trípodes no conductivos al efectuar las mediciones.

Se obtienen los niveles máximos de cada componente espectral, expresando la medida en la magnitud adecuada (E, H, S) con el fin de que puedan ser comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC. En el caso de presentarse contribuciones fraccionales, las más relevantes serán medidas con el propósito de dar cumplimiento a lo establecido en el numeral 3 del anexo II del Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

Si en todos los puntos de medición no se supera el nivel de referencia máximo permisible para el área bajo examen, no será necesario efectuar otra medición y el emplazamiento cumplirá con la norma. En el caso contrario, será necesario realizar la evaluación según se describe en la Medición Detallada.

c. Medición Detallada

Las técnicas de medición empleadas en este caso son variadas, incluyendo técnicas de medida en campo cercano de los emplazamientos fijos, de emisiones pulsadas y de campos de alta intensidad; generalmente estas medidas serán de banda angosta en el rango de frecuencias comprendido entre los 9 KHz a 3GHz. Este caso se aplica cuando la medición preliminar y medición selectiva excedan los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes o cuando el lugar de medición se encuentre en los supuestos de excepción descritos en el acápite.

Equipo de medición

Los equipos de medición empleados son variados y comprenden analizadores de espectro de barrido y de tiempo real, receptores / analizadores en el dominio del tiempo, además de emplear equipos similares a los de la medición selectiva, con características de alta inmunidad electromagnética.

Las sondas y/o antenas empleadas para mediciones tendrán la capacidad de medir en forma separada o combinada la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético.

Procedimiento

Ejecución de las mediciones en el emplazamiento.

- La medición se efectuará sobre cuatro direcciones ortogonales, a partir de la base de la antena.
- En el caso de antenas direccionales, una de las direcciones de medición deberá coincidir con el máximo lóbulo de radiación de la antena.
- Las distancias para ejecución de las medidas, serán de 2, 10, 20, 50 y 100 mts. En sentido horizontal y radial a partir de la base de la antena, siempre que los puntos de medición a estas distancias sean accesibles. En el caso de no serlo, se efectuará la medición en un punto alternativo, a discreción del inspector.
- En algunas circunstancias, las distancias de medición deberán ser proporcionales a la altura de la torre.
- Se deberán considerar mediciones en puntos de interés, tales como hospitales y colegios.

- Para el caso de estaciones radioeléctricas fijas en el rango de frecuencias superiores a 50 MHz, cuyo haz principal de radiación a -3dB esté dirigido hacia edificaciones con tránsito y/o permanencia poblacional, se deberán efectuar mediciones de la radiación no ionizante en los lugares de incidencia de la emisión.
- La altura para las mediciones será de: 2 mts. Sobre la superficie de referencia o se realizará una promediación espacial vertical lineal.
- El tiempo de integración será de 6 min. Sólo en los métodos desarrollados en las mediciones preliminares y selectivas.
- En las instalaciones donde la potencia varíe con la hora del día, las mediciones deberán efectuarse en las horas de máxima potencia.
- Se podrán considerar otros puntos de medición que el inspector considere que sean relevantes para llevar a cabo mediciones de radiaciones no ionizantes, indicando en el informe correspondiente las razones justificadoras.
- Los puntos de medición deben quedar perfectamente definidos sobre el terreno, o en un mapa en escala que permita la identificación inequívoca del punto de medición con el requerimiento adicional de la indicación de los mismos mediante coordenadas UTM y WGS 84, determinadas con GPS. Las coordenadas geográficas consignadas no deben ser obtenidas vía conversión (UTM-WGS 84 ó WGS 84-UTM)

2.2.8. Fundamentos de edificaciones

El Reglamento Nacional de Edificaciones (2006, p. 576297 – 576298) define edificación como obra de carácter permanente, cuyo destino es albergar actividades humanas. Comprende las instalaciones fijas y complementarias adscritas a ella.

2.2.8.1. Categoría de las edificaciones

Según el Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA, las edificaciones se pueden clasificar de la siguiente manera:

a. Edificaciones esenciales

A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.

A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:

- Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.
- Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.
- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.

Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.

b. Edificaciones importantes

Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.

También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.

c. Edificaciones comunes

Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.

d. Edificaciones temporales

Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.

2.3. Definición de términos básicos

Las siguientes definiciones fueron extraídas del Decreto Supremo N° 038-2003 – MTC.

❑ **Radiación**

Fenómeno que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. (p. 247645-247646)

❑ **Radiación No-Ionizante (RNI)**

Se denomina Radiación No Ionizante a aquellas ondas electromagnéticas que no producen alteración genética en la materia. Es la que no produce ionización en la materia. Cuando atraviesa los tejidos vivos, no tiene la suficiente energía para dañar el ADN en forma directa. (p. 247645-247646)

❑ **Exposición**

Es el proceso de permanecer dentro del rango de alteración o cambios desde una fuente. (p. 247645-247646)

❑ **Exposición Poblacional**

Se aplica para el público en general cuando las personas expuestas como consecuencia de su ocupación podrían no estar conscientes del potencial de la exposición o no puedan ejercer control sobre dicha exposición. Por lo tanto, el público en general siempre cae bajo esta categoría cuando la exposición no está relacionada con la ocupación. (p. 247645-247646)

❑ **Exposición Ocupacional**

Se da con respecto a los campos de RF cuando las personas están expuestas como consecuencia de su ocupación y están completamente conscientes del potencial para exposición y pueden ejercer el control sobre el mismo. Los límites de Exposición Ocupacional también se aplican cuando sus niveles están sobre los límites poblacionales, con tal que la persona expuesta esté enteramente consciente del potencial de exposición y pueda ejercer el control abandonando el área o por algún medio conveniente. (p. 247645-247646)

❑ **Antena**

Un dispositivo de radiación o receptor de energía de radiofrecuencia (RF).

(p. 247645-247646)

❑ **Campo Eléctrico**

La región que rodea una carga eléctrica, en el cual la magnitud y dirección de la fuerza sobre una prueba de carga hipotética está definida en algún punto. *(p. 247645-247646)*

❑ **Campo Electromagnético**

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 "c" de la luz ($c = 300\,000\text{ Km/s}$). 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 (E) y/o la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) en esa posición. Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad "voltio/metro" mientras que para medir la densidad del flujo magnético se utiliza la unidad "tesla" (T) ya veces el Gauss (G). Un Tesla equivale a 10 000 Gauss.

(p. 247645-247646)

❑ **Campo Magnético**

Región de espacio que rodea una carga en movimiento (i.e: en un conductor) siendo definida en cualquier punto por la fuerza a la que estaría expuesta otra hipotética carga en movimiento. Un campo magnético ejerce fuerza sobre partículas cargadas sólo si están en movimiento, y las partículas cargadas producen campos magnéticos sólo cuando están en movimiento. *(p. 247645-247646)*

❑ **Región de Campo Cercano**

Región generalmente en la proximidad de una antena u otra estructura radiante, en la cual los campos eléctrico y magnético no tienen un carácter substancialmente de onda plana, pero varían considerablemente de punto a punto. La región de

campo cercano se subdivide a su vez en región de campo cercano radiante y región de campo cercano reactivo. (p. 247645-247646)

❑ **Densidad de Potencia**

La tasa de flujo de energía electromagnética por la unidad del área de superficie usualmente expresado en W/m^2 o mW/cm^2 ó $\mu W/cm^2$. (p. 247645-247646)

❑ **Ganancia de Antena**

El incremento en la potencia transmitida o recibida por una antena direccional cuando es comparado con una antena standard, la cual es usualmente una antena isotrópica ideal. La ganancia es una relación de potencias y podría ser expresado en decibeles (dB) o como un número adimensional. (p. 247645-247646)

❑ **Intensidad de Campo Eléctrico**

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. Se expresa en unidades de voltios sobre metro (V/m). (p. 247645-247646)

❑ **Intensidad de Campo Magnético**

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). (p. 247645-247646)

❑ **Límite Máximo Permisible**

Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente. (p. 247645-247646)

❑ **Longitud de Onda (λ)**

La longitud de onda (λ) de una onda electromagnética está relacionada con la frecuencia f y velocidad v por la expresión $\lambda = v / f$. En espacio libre la velocidad

de una onda electromagnética es igual a la velocidad de la luz, por ejemplo, aproximadamente 3×10^8 m/s. (p. 247645-247646)

❑ **Pire (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)**

Es el producto de la potencia suministrada a una antena por la ganancia de la antena, en una dirección dada, relativa a un radiador isotrópico. (p. 247645-247646)

❑ **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. (p. 247645-247646)

❑ **Región de Campo Cercano Reactivo**

Región que está más cerca de una antena u otra estructura de radiación y contiene la mayoría o casi toda la energía almacenada. (p. 247645-247646)

❑ **Región de Campo Lejano**

Región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia a la antena. En esta región el campo tiene un carácter predominante de onda plana. (p. 247645-247646)

❑ **Tasa de Absorción Específica (Sar-Specific Absorption Rate)**

Es una medida de la energía de radiofrecuencia absorbida por unidad de masa en los tejidos corporales de los seres vivos y se mide en vatios por kilogramo (W/Kg). (p. 247645-247646)

CAPÍTULO III

MATERIAL Y

MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población y muestra

La población y muestra está constituida por el número de estimaciones que se pueden realizar en el radio de cobertura de la Estación Movistar Larco. Se asume una cobertura promedio con un radio de 500 metros. Se trazarán 360 radiales alrededor de la estación Movistar Larco tomando estimaciones cada 10 metros de distancia obteniendo 50 estimaciones por cada línea radial. Si cada radial tiene 50 muestras multiplicadas por los 360 radiales, tendríamos 18000 muestras para 2G y 18000 muestras para 3G, haciendo un total de 36000 muestras. Este número constituirá nuestra población y muestra.

En nuestro caso se ha elegido la estación Movistar Larco perteneciente al Operador Movistar y ubicada en la urbanización San Andrés de la Ciudad de Trujillo.

3.1.2. Unidad de Análisis

Estimación del nivel de densidad de potencia recibida de acuerdo a la altura de edificación.

3.2. Método

3.2.1. Nivel de Investigación

El nivel de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo descriptiva. Se busca caracterizar las diferencias de la densidad de potencia de radiaciones no ionizantes estimadas de acuerdo a la altura de las edificaciones circundantes a la estación Movistar Larco en la banda de 850 MHz.

3.2.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación propuesto en el presente trabajo es de investigación de campo. Se van a estimar datos de densidad de potencia de radiaciones no ionizantes estimadas de acuerdo a la altura de las edificaciones circundantes a la estación Movistar Larco en la banda de 850 MHz, sin manipular o controlar las variables.

Etapas:

1. Recolección de especificaciones técnicas de la estación Movistar Larco en la banda de 850 MHz.
2. Elaboración de perfiles de elevación según la altura de las edificaciones circundantes a la estación Movistar Larco 850 MHz.
3. Estimación de los Niveles de Densidad de Potencia por cada sector en un radio de 500 metros.
4. Clasificación de los Niveles de Densidad de Potencia estimados de acuerdo a la altura de las edificaciones.
5. Comparativa de las diferencias obtenidas para los niveles de densidad de potencia, mediante tablas y gráficos estadísticos.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

❖ Variable Independiente

Altura de las edificaciones circundantes a la Estación Movistar Larco

Definición Conceptual

Las edificaciones se han clasificado en referencia a la altura máxima de construcción. Es así que se considera una clasificación en base a las alturas de áreas abiertas, viviendas comunes y edificios circundantes a la estación Movistar Larco, cuyas características de altura influyen sobre los niveles de radiación recibidos en sus zonas exteriores.

❖ Variable Dependiente

Diferencias entre los niveles de densidad de potencia estimados de acuerdo a la altura de la edificación.

Definición Conceptual

Se refiere al resultado de la comparación de los niveles radiación recibida en las zonas exteriores de las diversas edificaciones, circundantes a la Estación Movistar Larco, que han sido clasificadas por altura.

Operacionalización de las Variables

Tabla N° 3.1. Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO
Tipo de edificación de la Urbanización San Andrés.	Áreas Abiertas (0 pisos)	N° de áreas abiertas circundantes a la estación Movistar Larco	Guía de observación.
	Viviendas Comunes (1 - 4 pisos)	N° viviendas comunes	Guía de observación.
	Edificios (5 a más pisos)	N° de edificios	Guía de observación.

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla N° 3.2. Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Diferencias entre niveles de radiación no ionizante estimados de acuerdo al tipo de edificación	Comparativa de los valores de densidad de potencia estimados de acuerdo al tipo de edificación circundante a la Estación Movistar Larco	Diferencias entre los niveles de radiación estimados para áreas abiertas, viviendas comunes y edificios	Estimación analítica.	dB, uW

Fuente: *Elaboración Propia*

3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

- **Resumen de ubicación y orientación de cobertura de la Estación Movistar Larco Larco**

En el estudio de campo realizado en la Urbanización San Andrés, se pudo recolectar información correspondiente a la ubicación de la Estación Celular Movistar Larco – Trujillo, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 3.1.



Figura N° 3.1. Plano de Ubicación de la Estación Movistar Larco

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 3.2 y Figura N° 3.3, se aprecia cada uno de los sectores correspondientes a la Estación Celular Movistar Larco en la tecnología 2G y 3G respectivamente.



Figura N° 3.2. Sectorización 2G de la Estación Movistar Larco en la Urb. San Andrés

Fuente: Elaboración Propia

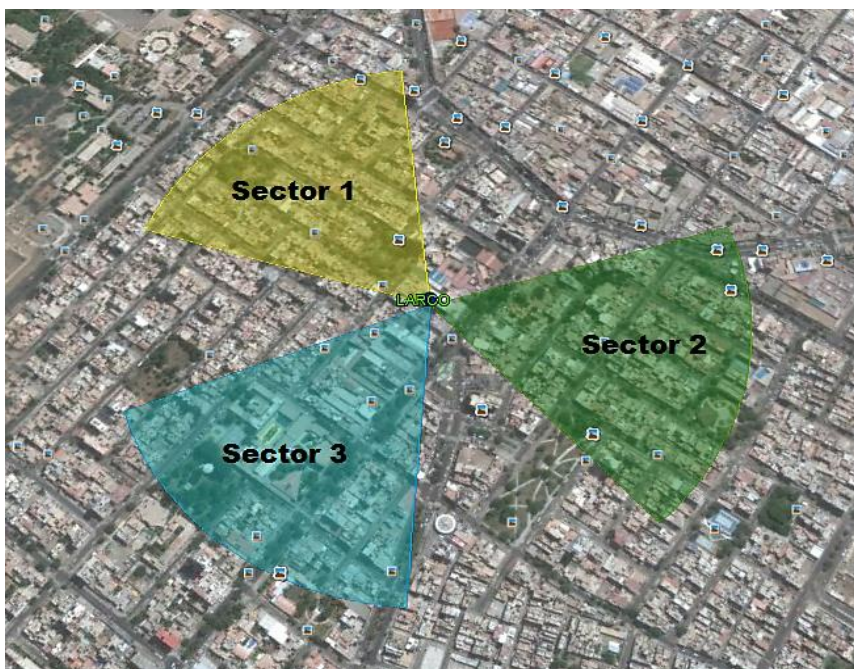


Figura N° 3.3. Sectorización 3G de la Estación Movistar Larco en la Urb. San Andrés

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N° 3.3 presenta un resumen de los parámetros de la Estación Celular Movistar Larco, los cuales son de gran importancia para el cálculo de los niveles de potencia estimados según la altura de edificación.

Tabla N° 3.3. Resumen de parámetros de la Estación Movistar Larco

Estación Movistar Larco			
Latitud	-8.11694444		
Longitud	-79.0329		
Altura Antena	35 m		
Sectores	S1	S2	S3
Azimut en 2G	330°	90°	230°
Azimut en 3G	325°	110°	220°
Tilt 2G	5°		
Tilt 3G	8°		

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen de características técnicas del equipamiento de la Estación Movistar Larco.**

Estación Huawei BTS3900

La estación celular Larco del Operador Movistar en la ciudad de Trujillo ubicada en la Urbanización San Andrés correspondiente al Nodo B del Operador móvil, emplea equipamiento Huawei, los cuales actualmente tienen la posibilidad de albergar 2 tecnologías (2G/3G) utilizando el mismo equipamiento. Para nuestro caso de estudio, se detalla la estructura de un Nodo B estándar, el cual está constituido por una BBU (Unidad de Banda Base), 3 RRU (Unidad de radio remota) y la sección radiante, la cual se encuentra conformada por antenas sectoriales, típicamente irradiando sobre 03 sectores con un haz de apertura de 65°. Ver Figura N° 3.4.

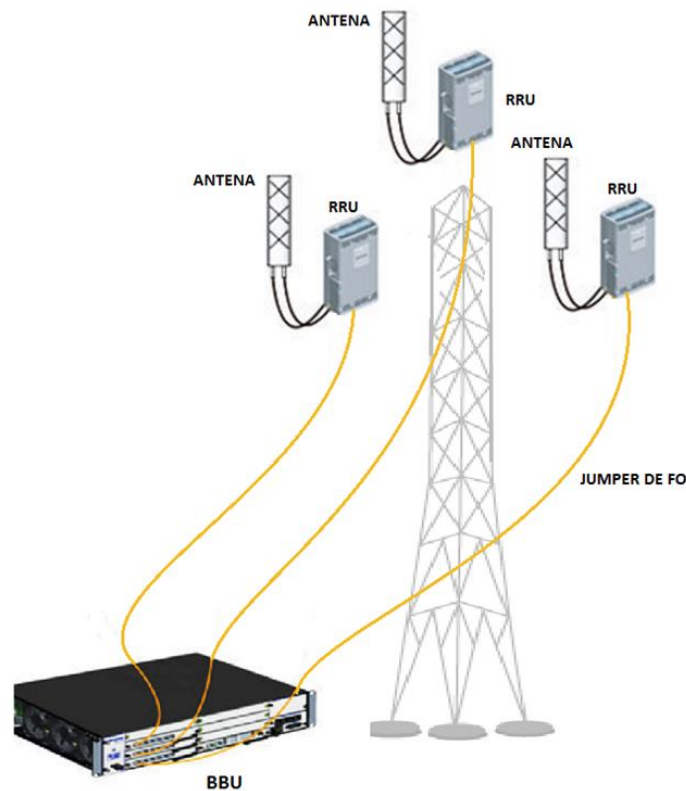


Figura N° 3.4. Estructura de un Nodo B del Operador Móvil

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

a. Características de la BBU (Unidad de Banda Base)

La BBU 3900 como una unidad de control de banda de base, cuenta con las siguientes características:

- Administra de forma centralizada toda la estación base, incluyendo la operación y mantenimiento, señalización de procesamiento, y el reloj del sistema.
- Procesa el uplink y downlink de la banda base.
- Cuenta con puertos físicos, que se utilizan para conectar el NodoB con la Red del operador móvil (RNC)
- Cuenta con Puertos CPRI que nos permiten realizar la conexión con las RRUs.
- Cuenta con puerto USB para la descarga del software hacia el NodoB.

Es importante resaltar que el interfaz hacia la RNC/BSC es independiente para cada tecnología (excepto para aquellos casos en los que se opte por utilizar co-transmisión), es decir, la parte 2G tiene una conexión para el interfaz Abis (comunicación entre BTS y BSC) y la parte 3G dispone de transmisión propia conectada a la RNC para el interfaz Iub.

La BBU está conformada a su vez por una serie de tarjetas, tal como se muestra en la siguiente figura:

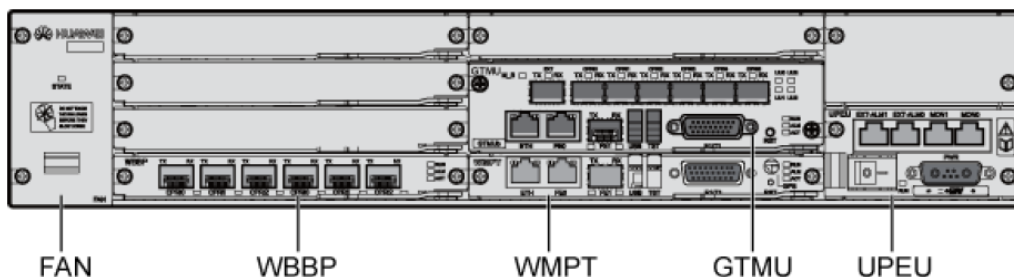


Figura N° 3.5. Tarjetas que conforman la BBU 3900

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

A continuación se detalla las tarjetas que forman la BBU y su funcionalidad.

❖ **WMPT (WCDMA Main Processes and Transmission unit)**

La tarjeta WMPT se encarga de procesar las señales y gestiona los recursos para las demás tarjetas de la parte 3G.

Entre sus funciones cabe destacar que provee de las tareas de O&M (Operaciones & Mantenimiento) tales como configuración y gestión del equipo y monitorización y procesado de la señal. Además proporciona la señal del reloj de referencia y 4 E1s que soportan protocolo ATM e IP.

En la siguiente figura se puede apreciar sus puertos:



Figura N° 3.6. Tarjeta WMPT

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

❖ **GTMU (GSM Transmission & Management Unit for BBU)**

La tarjeta GTMU es la entidad básica de transmisión y control de la BBU para la parte 2G.

Entre sus funciones cabe destacar que controla y gestiona la BTS, monitoriza los ventiladores y módulos de alimentación y provee de la señal de reloj. Además, soporta la transmisión sobre 4 E1s y dispone de los CPRI (6) necesarios para la comunicación con las RFU.

La siguiente figura muestra la configuración de sus puertos:

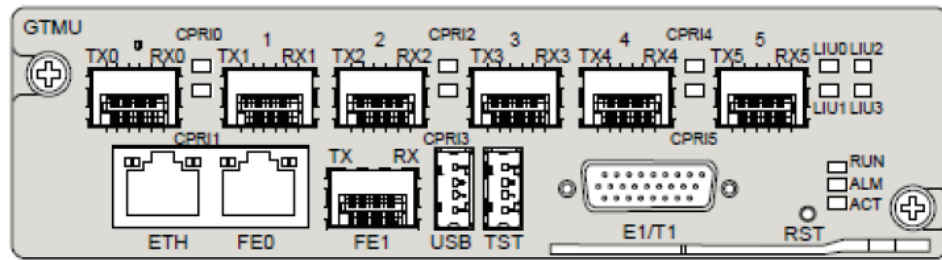


Figura N° 3.7. Tarjeta GTMU

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

❖ **WBBP (WCDMA Baseband Process Unit)**

La tarjeta WBBP es la encargada de procesar señales en banda base tanto en uplink como en downlink, además de proveer de los puertos CPRI necesarios para la comunicación con las RRU (Radio Remote Unit).

La Figura N° 3.8 muestra la configuración de sus puertos:



Figura N° 3.8. Tarjeta WBBP

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

Existen diferentes versiones de la tarjeta WBBP. La versión define y limita el número de celdas y el número de channel element (CE) soportado en UL y DL.

❖ UPEU (Universal Power and Environment Interface Unit)

La tarjeta UPEU es obligatoria en la BBU3900 ya que se encarga de transformar a +12V de corriente continua la señal de entrada.

En nuestro caso, la versión UPEUa convierte de -48V a +12V DC. Además, proporciona dos puertos de entrada MON y dos puertos para 8 señales de tipo Boolean (EXT-ALM). Estos puertos nos permitirán conectar la BBU a la caja de alarmas externas en el site.

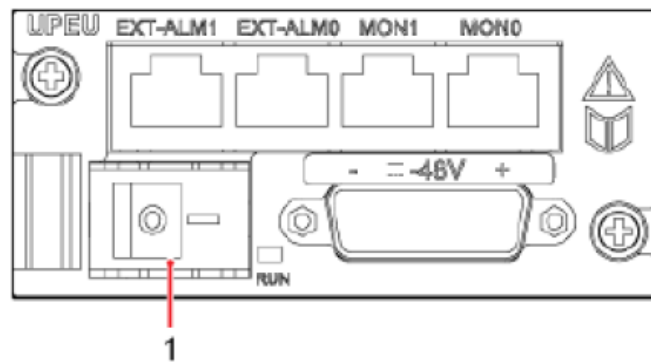


Figura N° 3.9. Tarjeta UPEU

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

❖ FAN

La unidad FAN controla la velocidad de los ventiladores y reporta el estado de los mismos a la tarjeta de control principal, monitoriza la temperatura de la unidad y disipa el calor de la BBU.

b. Características de la RRU (Unidad Remota de Radio)

La RRU es una unidad de radio remota, una o más RRU constituyen la parte de radiofrecuencia (RF) de una estación base distribuida.

La RRU puede ser instalado en un poste, pared o soporte, también se puede instalar cerca de las antenas para acortar la longitud de alimentación, reducir la pérdida en los feeders, y mejorar la cobertura del sistema.

Entre sus funciones destaca la modulación y demodulación de señales de banda base y señales de radiofrecuencia (RF), procesamiento de datos, y detección de ondas estacionarias.

Además de ello el RRU realiza las siguientes funciones:

- Recibe datos de enlace descendente de banda base de la BBU y envía datos de la banda de enlace ascendente para la comunicación entre la BBU y la RRU.
- El canal RX recibe señales de RF desde el sistema de antena, luego convierte las señales recibidas en señales de IF, amplifica las señales de IF, y realiza conversión analógico-digital (A / D). El canal TX filtra las señales de enlace descendente, lleva a cabo la conversión de digital a analógico, y convierte las señales de radiofrecuencia a la banda de TX.

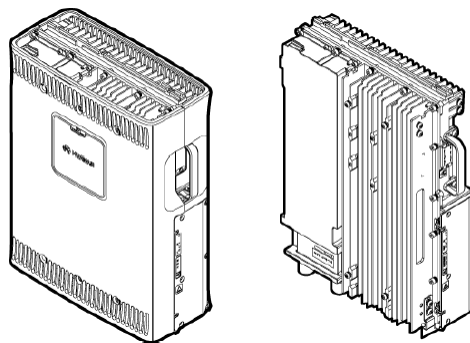


Figura N° 3.10. RRU (Radio Remote Unit)

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

La RRU cuenta con los siguientes puertos:

- 2 puertos ópticos infrarrojos, utilizados para transmitir datos, señal de reloj y la señal de sincronización.
- 2 puertos tipo N, que se utiliza para conectarse a la antena.
- 1 puerto de la fuente de alimentación, que se utiliza para conectarse a -48V DC.
- 1 puerto de monitoreo externo, que se utiliza para obtener las alarmas y señal de estado del dispositivo externo y administrar el dispositivo externo a través del puerto RS485.

El Nodo B del Operador móvil Movistar tiene el RRU3908 V1, el cual soporta 6 portadoras en modo GSM y en modo dual (GSM+UMTS) o 4 portadoras en modo UMTS. Además, permite el control de potencia y detección del ROE y proporciona los puertos CPRI para la comunicación con la BBU.

La Tabla N° 3.4 detalla las Bandas de Frecuencias que soporta un RRU3908 V1.

Tabla N° 3.4. Bandas de Frecuencias del RRU3908 V1

Type	Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)	Mode
RRU3908 V1	850	824 to 849	869 to 894	GSM and UMTS
	900	890 to 915	935 to 960	GSM, UMTS, and GSM + UMTS
		880 to 905	925 to 950	
	1800	1710 to 1755	1805 to 1850	GSM and LTE
		1740 to 1785	1835 to 1880	
	1900	1850 to 1890	1930 to 1970	GSM and UMTS
		1870 to 1910	1950 to 1990	

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

La siguiente tabla muestra la potencia de salida del RRU3908 V1 para GSM Y UMTS, respectivamente.

Tabla N° 3.5. Potencia de salida del RRU3908 V1

Mode	Number of GSM Carriers	Number of UMTS Carriers	Output Power per GSM Carrier (W)	Output Sharing Power per GSM Carrier (W)	Output Power per UMTS Carrier (W)
GSM	1	0	40	40	0
	2	0	40	40	0
	3	0	20	20	0
	4	0	15	20	0
	5	0	12	12	0
	6	0	10	12	0
UMTS	0	1	0	0	40
	0	2	0	0	30
	0	3	0	0	20*
	0	4	0	0	15*

Fuente: Data Sheet Equipamiento Huawei

c. Características Técnicas del Cable Coaxial Heliax

El cable coaxial Heliax es un cable utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia que posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado vivo, encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular, llamado malla, blindaje o trenza, que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes. Entre ambos se encuentra una capa aislante llamada dieléctrico, de cuyas características dependerá principalmente la calidad del cable. Todo el conjunto suele estar protegido por una cubierta aislante (también denominada chaqueta exterior).

El modelo utilizado en el Nodo B por las estaciones Movistar Trujillo es el AVA5-50FX del fabricante Andrew, el cual contiene cobre de alta pureza para una mejor conducción de las señales electrónicas, tiene un diámetro de 7/8" y su aislamiento coaxial esta hecho de espuma plástica y de un envolvente corrugado el cual facilita la propagación de las señales en alta frecuencia. Sobre todos estos elementos se coloca una chaqueta envolvente de polietileno de alta resistencia para el soporte de tendidos en exteriores.

Características Técnicas del Cable Coaxial HELIAX AVA5-50FX de 7/8" - Andrew

AVA5-50FX, HELIAX es un cable coaxial en cobre corrugado que se caracteriza por su altísimo rendimiento, cuya dimensión es de 7/8", con una cubierta exterior de polietileno negro.



Figura N° 3.11. Presentación del HELIAX AVA5-50FX de 7/8" - Andrew

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

La Tabla N° 3.6 detalla las características técnicas del HELIAX AVA5-50FX de 7/8", entre las características más resaltantes destacan:

- Cubierta de polietileno y conductor exterior de cobre corrugado, lo cual le otorga flexibilidad y mayor estabilidad a las características eléctricas del cable en alta frecuencia.
- Impedancia de 50 ohmios, soporte de descargas en cubierta exterior hasta 8000 voltios D.C.
- Rango de frecuencias operativas: 1 a 5000 MHz.
- Coeficiente de Onda Estacionaria de 1.13, con pérdidas de retorno de 24.3 dB, es decir se tendrá una posible variación de impedancia de $\pm 10\%$ del valor ideal de 50 ohmios
- Atenuación en la banda de 850 MHz de aproximadamente 0.0036 dB/m
- Manejo de Potencia de hasta 2.34 KW en banda de 1900 MHz

Tabla N° 3.6. Características Técnicas del HELIAX AVA5-50FX de 7/8"

Product Specifications



AVA5-50FX

AVA5-50FX, HELIAX® Andrew Virtual Air™ Coaxial Cable, corrugated copper, 7/8 in, black PE jacket

Construction Materials

Jacket Material	PE
Outer Conductor Material	Corrugated copper
Dielectric Material	Foam PE
Flexibility	Standard
Inner Conductor Material	Copper
Jacket Color	Black

Electrical Specifications

Cable Impedance	50 ohm ±1 ohm
Capacitance	22.0 pF/ft 73.0 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.825 ohms/kft 2.888 ohms/km
dc Resistance, Outer Conductor	0.400 ohms/kft 1.313 ohms/km
dc Test Voltage	6000 V
Inductance	0.184 µH/m 0.056 µH/ft
Insulation Resistance	100000 Mohms*km
Jacket Spark Test Voltage (rms)	8000 V
Operating Frequency Band	1 – 5000 MHz
Peak Power	91.0 kW
Velocity	90%

Mechanical Specifications

Bending Moment	27.1 N-m 20.0 ft lb
Flat Plate Crush Strength	75.0 lb/in
Minimum Bend Radius, Multiple Bends	254.00 mm 10.00 in
Minimum Bend Radius, Single Bend	127.00 mm 5.00 in
Number of Bends, minimum	15
Number of Bends, typical	30
Tensile Strength	159 kg 350 lb

Return Loss/VSWR

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
680–800 MHz	1.13	24.30
800–960 MHz	1.13	24.30
1700–2200 MHz	1.13	24.30

Attenuation

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.08	0.024	91.00
1	0.113	0.034	74.43
1.5	0.138	0.042	60.73
2	0.16	0.049	52.56
10	0.359	0.11	23.37
20	0.51	0.156	16.46
30	0.627	0.191	13.39
50	0.814	0.248	10.32
85	1.068	0.326	7.86
88	1.088	0.332	7.72
100	1.162	0.354	7.23
108	1.209	0.368	6.95
150	1.433	0.437	5.86
174	1.548	0.472	5.43
200	1.665	0.507	5.05
204	1.682	0.513	4.99
300	2.059	0.628	4.08
400	2.398	0.731	3.50
450	2.553	0.778	3.29
500	2.7	0.823	3.11
512	2.735	0.834	3.07
600	2.977	0.907	2.82
700	3.235	0.986	2.60
800	3.478	1.06	2.42
824	3.534	1.077	2.38
894	3.694	1.126	2.27
960	3.841	1.171	2.19

* Values typical, guaranteed within 5%

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

d. Características del Sistema Radiante en banda 850 MHz

Antena sectorial Andrew Modelo: DBXLH-6565C-VTM

Las antenas que conforman el sistema radiante de los Nodos B del operador móvil, incluyen antenas sectoriales multibanda, las cuales son empleadas en la banda 850 MHz para el servicio 3G. Típicamente estas antenas poseen polarización cruzada (+ 45°), con un haz de radiación horizontal de 65°. La Figura N° 3.12 ilustra la Antena Andrew modelo: DBXLH-6565C-VTM, la cual es uno de los modelos de antena empleados por el operador Movistar en la ciudad de Trujillo y vista de diferentes ángulos:



Figura N° 3.12. Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

La Tabla N° 3.7 presenta un resumen de las características técnicas eléctricas de la antena, las cuales se muestran de manera específica para las bandas de 824 a 896 MHz, 870 a 960 MHz, 1710 a 1880 MHz, 1850 a 1990 MHz y 1920 a 2180 MHz. Entre las características técnicas más destacables se pueden mencionar:

- Tipo de antena: Sectorial
- Banda de operación: Multiband (824 - 960 MHz | 1710 - 2180 MHz)
- Ancho de haz horizontal: 65°
- Ancho de haz vertical: 7.7°
- Polarización Cruzada: $\pm 45^\circ$
- Ganancia: 16.8 dBi
- Dimensiones (Largo: 2,577.0 mm x Ancho: 269.0 mm x Profundidad: 132.0 mm)
- Posee Sistema de Control Electrónico Remoto de Tilt (RET), registrado comercialmente por Andrew Teletilt ® Antena.
- Supresión de Lóbulos Laterales No Deseados (USLS), con 15 dB.
- Excelente patrón azimutal con reducción de lóbulos secundarios y una alta relación Front to Back (F/B). Lo cual mejora el control de potencia fuera del sector, reduciendo la interferencia co-canal, facilitando las transiciones para hand-offs, y mejorando con ello la capacidad de atención a usuarios.

Tabla N° 3.7. Características Técnicas de la Antena Andrew DBXLH-6565C-VTM

Product Specifications

COMMSCOPE®



DBXLH-6565C-VTM

Multiband Antenna, 824–960 and 1710–2180 MHz, 65° horizontal beamwidth, RET compatible

- Interleaved dipole technology providing for attractive, low wind load mechanical package

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	824–896	870–960	1710–1880	1850–1990	1920–2180
Gain, dBi	16.8	17.4	18.5	18.7	18.3
Beamwidth, Horizontal, degrees	70	67	66	62	60
Beamwidth, Vertical, degrees	7.7	7.4	4.9	4.6	4.3
Beam Tilt, degrees	0–8	0–8	0–6	0–6	0–6
USLS (First Lobe), dB	15	15	15	15	15
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	26	27	32	32	28
Isolation, dB	30	30	30	30	30
Isolation, Intersystem, dB	35	35	35	35	35
VSWR Return Loss, dB	1.4 15.6	1.5 14.0	1.5 14.0	1.4 15.6	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 × 20 W, dBc	-150	-150	-150	-150	-150
Input Power per Port, maximum, watts	350	350	350	350	350
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

General Specifications

Operating Frequency Band	1710 – 2180 MHz 824 – 960 MHz
Antenna Type	Sector
Band	Multiband
Brand	DualPol®
Performance Note	Outdoor usage

Mechanical Specifications

RF Connector Quantity, total	4
RF Connector Quantity, low band	2
RF Connector Quantity, high band	2
RF Connector Interface	7-16 DIN Female
Color	Light gray
Grounding Type	RF connector inner conductor and body grounded to reflector and mounting bracket
Radiator Material	Aluminum
Radome Material	PVC, UV resistant
RF Connector Location	Bottom
Wind Loading, maximum	922.0 N @ 150 km/h 207.3 lbf @ 150 km/h
Wind Speed, maximum	201 km/h 125 mph

Dimensions

Length	2577.0 mm 101.5 in
Width	269.0 mm 10.6 in
Depth	132.0 mm 5.2 in
Net Weight, without mounting kit	21.7 kg 47.8 lb

Remote Electrical Tilt (RET) Information

Model with Factory Installed AISG 2.0 Actuator DBXLH-6565C-A2M

Packed Dimensions

Length	2717.0 mm 107.0 in
Width	376.0 mm 14.8 in
Depth	267.0 mm 10.5 in
Shipping Weight	31.0 kg 68.3 lb

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

Asimismo, se destacan dentro de las características técnicas de la antena los datos referentes a la variación del patrón de radiación horizontal cuando la antena es sometida a un uptilt (elevación), la variación del patrón de radiación vertical respecto a un downtilt (declinación), y la variación del patrón de radiación horizontal con la variación del downtilt eléctrico.

La Figura N° 3.13 muestra la variación del patrón de radiación cuando la antena es elevada entre 0 y 8°. Puede apreciarse que su patrón de radiación horizontal no sufre mayor deformación, y tiende a ensancharse ligeramente hacia el lado derecho e izquierdo.

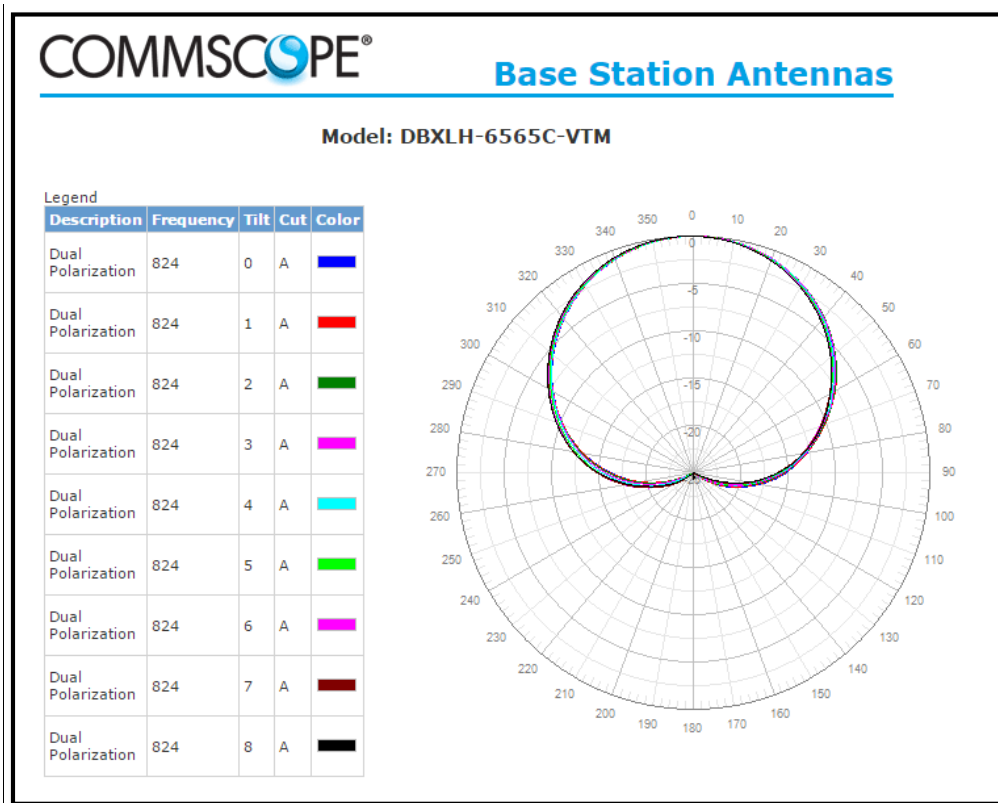
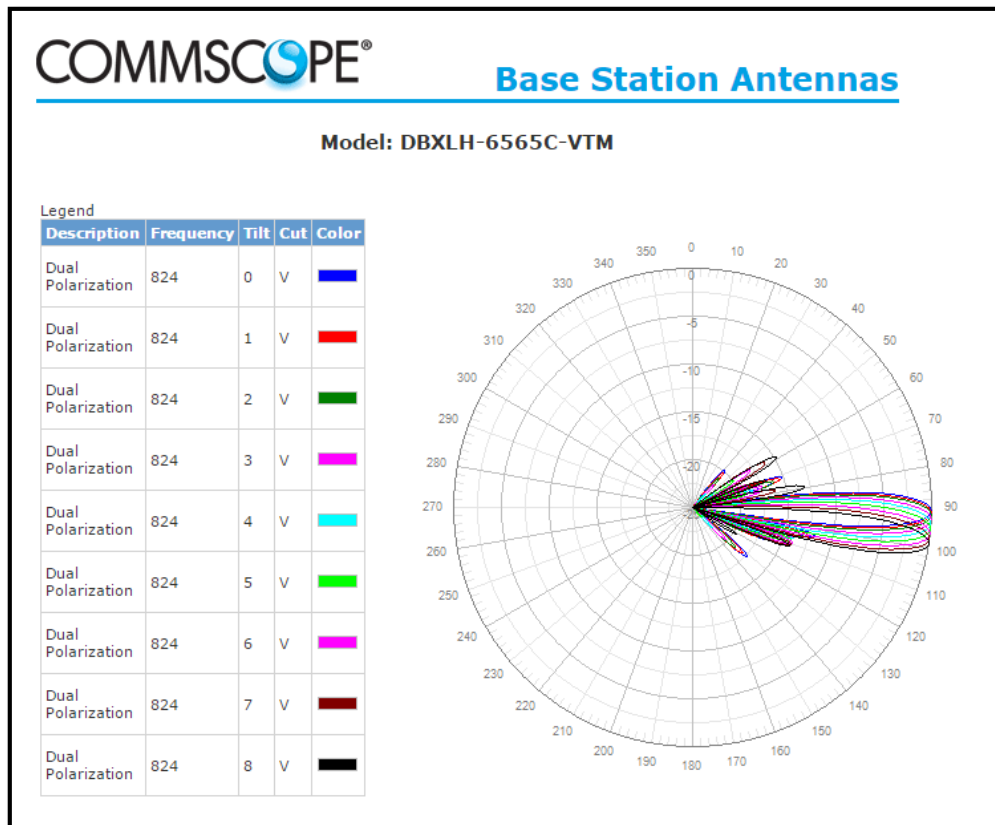


Figura N° 3.13. Patrones Azimutales de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

La Figura N° 3.14 ilustra la variación del patrón de radiación vertical cuando la antena es sometida a una declinación entre 0° y 8° hacia la zona de cobertura terrestre. Se puede apreciar que el patrón tiende a deformarse considerablemente, lo cual puede derivar en alteraciones de la cobertura esperada.



**Figura N° 3.14. Patrones Verticales de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-
VTM**

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

La Figura N° 3.15 muestra la variación del patrón de radiación horizontal cuando la antena es sometida a una declinación entre 0° y 8° hacia la zona de cobertura terrestre. Se puede apreciar que el patrón tiende a deformarse considerablemente puesto que conforme se aumenta el ángulo de declinación (downtilt), el patrón de radiación va cerrando su ángulo de apertura de 65° hasta llegar a tener un ángulo de aproximadamente 25° de apertura en el caso más crítico (8° de downtilt).

Cabe destacar que la deformación se da básicamente como reducción del ángulo de apertura, no generando lóbulos secundarios de radiación que podrían originar interferencias en la red celular. Asimismo se debe destacar que esta deformación es necesaria a fin de concentrar la señal hacia un área específica. Las antenas que no poseen sistema de variación de tilt eléctrico (RET), deben verse forzadas a manipularse físicamente desde la ferretería de sujeción, lo cual deforma aún más el patrón de radiación original.

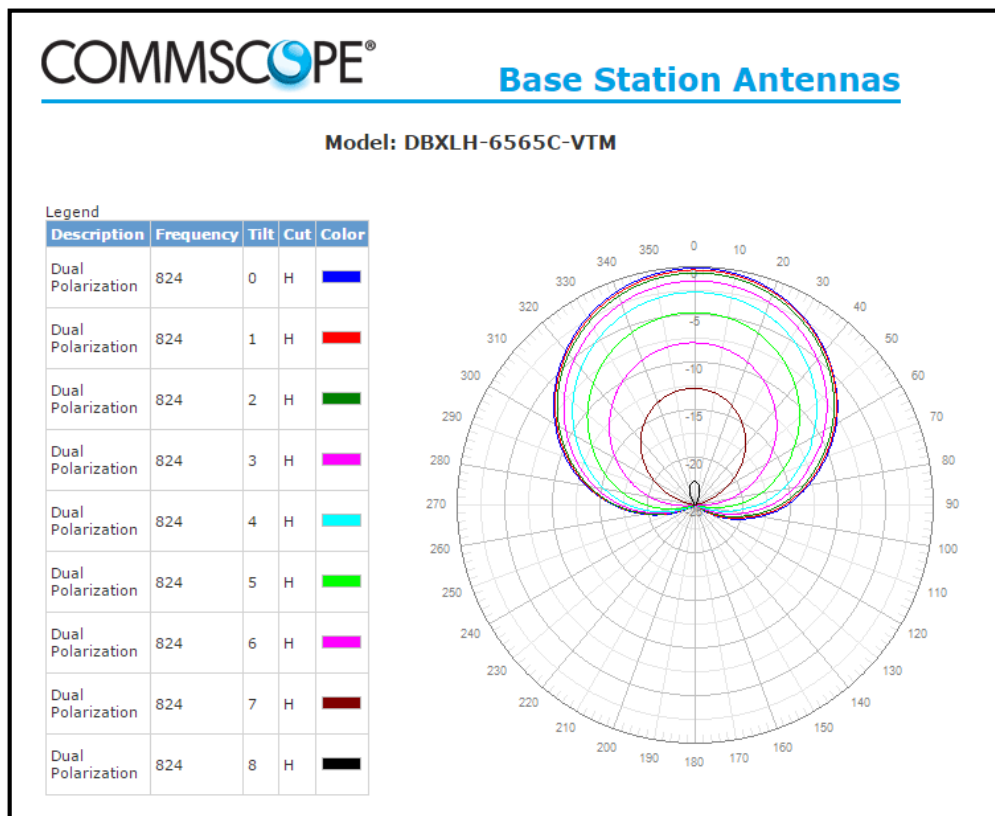


Figura N° 3.15. Patrones Horizontales RET de la Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM

Fuente: Data Sheet Andrew Commscope (2016)

- **Resumen del levantamiento de información del perfil de elevación de las edificaciones circundantes a la Estación Movistar Larco.**

Para acceder a una información detallada de las edificaciones circundantes a la Estación Celular Movistar Larco se empleó como herramienta principal Google Earth, y Street View, de la misma manera se realizó visitas de campo para confirmar que los datos sean los más actualizados.

En la Figura N° 3.16 se muestra el Radial 0 (R0) tomado como punto de inicio, para cada uno de los sectores de la Estación Celular.



Figura N° 3.16. Radial 0 en la Estación Movistar Larco

Fuente: Elaboración Propia

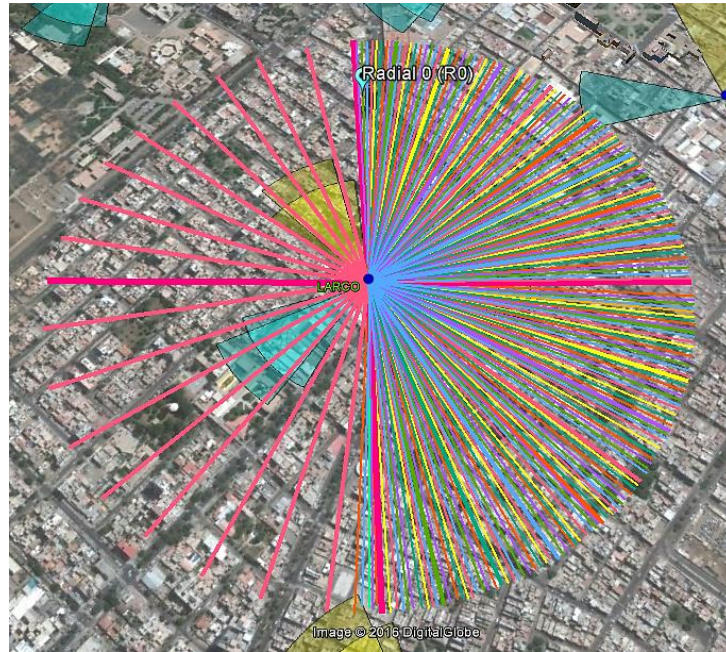


Figura N° 3.17. Ubicación de Radiales en la Estación Movistar Larco

Fuente: Elaboración Propia

Utilizando Street View se logró tener una visión más detallada de las calles, en específico, el recorrido de cada uno de los 360 radiales de la Estación Celular, como se ve en la siguiente la Figura N° 3.18.



Figura N° 3.18. Alrededores de la Antena Movistar Larco

Fuente: Street View



Figura N° 3.19. Antena Movistar Larco

Fuente: Fotos

La Figura N° 3.20 muestra el contraste entre el Street View y la visita de campo para confirmar la existencia de nuevos edificios.



Figura N° 3.20. Contraste de información realizando visitas de campo

Fuente: Fotos

Para la toma de mediciones se realizó un desplazamiento por los alrededores de Estación Movistar Larco – Trujillo, con la finalidad de obtener un área que sea lo más representativa de la cobertura actual. En la Figura N° 3.21 se aprecia la toma de datos realizados en los alrededores de la Estación celular.



Figura N° 3.21. Toma de datos en los alrededores de Estación Larco

Fuente: Fotos

La Tabla N° 3.8 muestra extractos de las alturas recopiladas por radial, para nuestro caso, los 360 radiales.

Tabla N° 3.8. Extracto de alturas de los Radiales (R0 - R90)

Radial	Distancia	Pisos	Altura
0	10	0	0
0	20	2	6
0	20	1	3
0	20	0	0
0	30	2	6
0	30	1	3
0	30	0	0
0	40	2	6
0	40	1	3
0	40	0	0
0	50	3	9
0	50	2	6
0	50	1	3
0	50	0	0
0	60	2	6
0	60	1	3
0	60	0	0
0	70	1	3
0	70	0	0
0	80	1	3
0	80	0	0
0	90	1	3
0	90	0	0
0	100	1	3
0	100	0	0
0	110	1	3
90	10	3	9
90	10	2	6
90	10	1	3
90	10	0	0
90	20	2	6
90	20	1	3
90	20	0	0
90	30	2	6
90	30	1	3
90	30	0	0
90	40	2	6
90	40	1	3
90	40	0	0
90	50	2	6
90	50	1	3
90	50	0	0
90	60	2	6
90	60	1	3
90	60	0	0
90	70	0	0
90	80	1	3
90	80	0	0
90	90	1	3
90	90	0	0
90	100	1	3
90	100	0	0
90	110	1	3
90	110	0	0

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

De acuerdo a los valores obtenidos de las mediciones realizadas en el Google Earth cada 10 metros por línea radial., los datos se ingresan en la hoja de Excel Procesamiento de información para que muestre el diagrama de alturas.

La Figura N° 3.22, ilustra el diagrama de alturas para el Radial 0 y la Figura N° 3.23 el diagrama de alturas para el Radial 90.

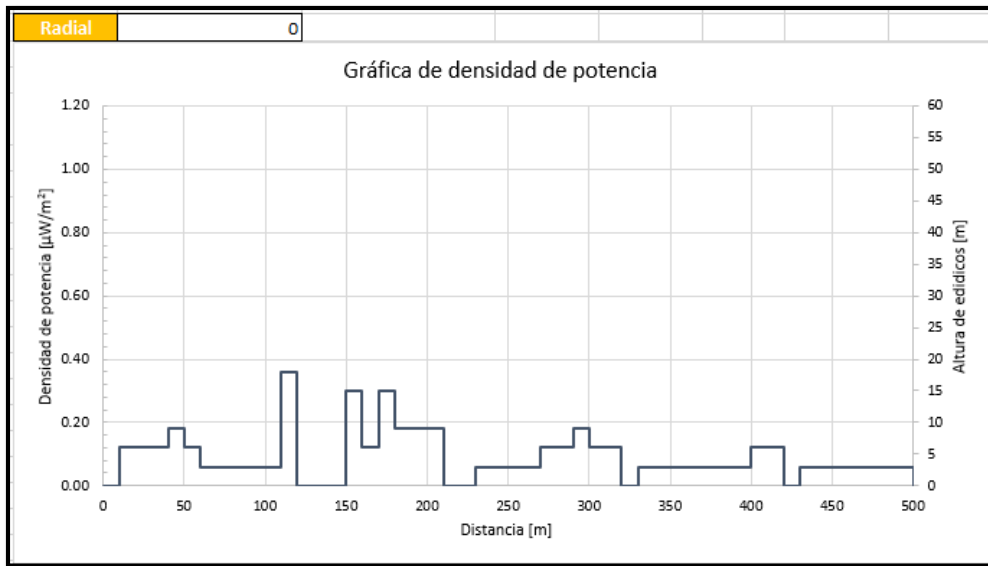


Figura N° 3.22. Diagrama de alturas para el Radial 0

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

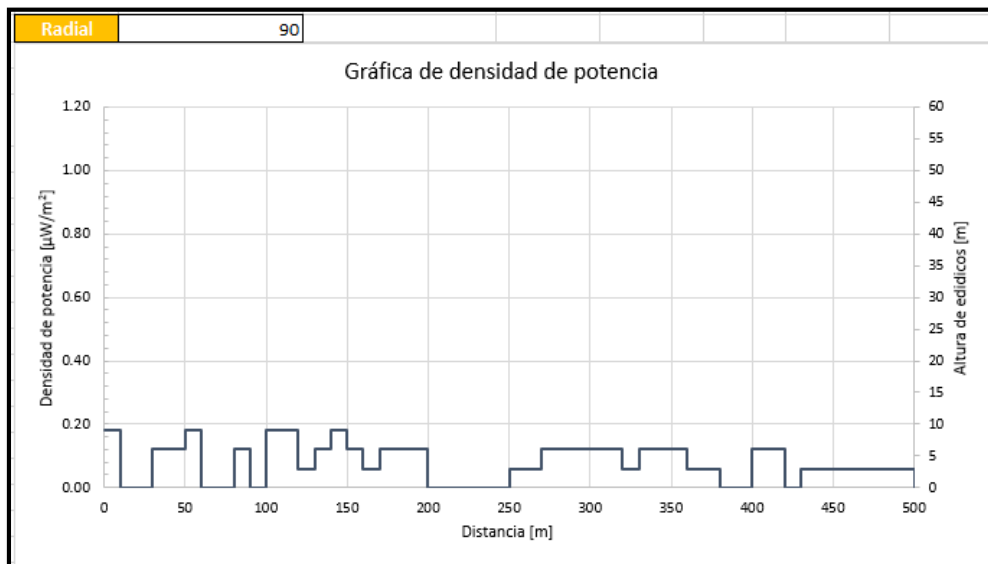


Figura N° 3.23. Diagrama de alturas para el Radial 90

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

De la misma manera se procedió para los 360 radiales por Sector tanto en 2G como en 3G.

- **Banda de frecuencia de operación de la Estación Movistar Larco.**

En la Tabla N° 3.9 se detalla el rango de frecuencias en el que opera la Estación Movistar Larco.

Tabla N° 3.9. Bandas de 824 – 849 MHz y 869 – 894 MHz

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	824 - 835	869 - 880	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
	845 - 846,5	890 - 891,5		
B	835 - 845	880 - 890	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
	846,5 - 849	891,5 - 894		

Fuente: *Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2005*

Nota P53 PNAF según RM 734-2005-MTC/03 publicada el 24 de octubre de 2005.

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 concesión y la asignación de espectro para la explotación de dichos servicios.

Canalización vigente según RVM 268-2005-MTC/03 publicada el 29 de mayo de 2005.

3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos y análisis de datos

Para realizar el procesamiento se empleó una hoja de cálculo de Excel denominada *Procesamiento de información*, contiene los siguientes datos:

- Datos de la Antena, como se describe en la Figura N° 3.24.

FILENAME	DBXLH-6565C-VTM_00DT_0850
MAKE	ANDREW
FREQUENCY	850 MHz
H_WIDTH	70
V_WIDTH	7.7
FRONT_TO_BACK	26
GAIN	16.8
TILT	ELECTRICAL

Figura N° 3.24. Datos de la Antena Larco

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

- Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de la Antena Sectorial Modelo: DBXLH-6565C-VTM

La Tabla N° 3.10 muestra los patrones de radiación en los que se consideró un ángulo de declinación (downtilt) de 5° para el caso de 2G, y en la Tabla N° 3.11 se consideró un downtilt de 8° para 3 G .

Tabla N° 3.10. Extracto Tablas de datos del Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de la Antena Sectorial para 2G

HORIZONTAL 360			VERTICAL 360	
0	0		0	6.81
1	0.02		1	4.46
2	0.02		2	2.68
3	0.03		3	1.38
4	0.04		4	0.55
5	0.07		5	0.09
6	0.1		6	0
7	0.11		7	0.29
8	0.16		8	0.94
9	0.19		9	2
10	0.24		10	3.53
11	0.29		11	5.55
12	0.34		12	8.23
13	0.38		13	11.8
14	0.45		14	16.59
15	0.54		15	20.69
16	0.62		16	20.95
17	0.7		17	19.33
18	0.8		18	18.71
19	0.87		19	19.54
20	0.97		20	21.97
21	1.07		21	26.98
22	1.2		22	31.53
23	1.31		23	27.68
24	1.41		24	23.33
25	1.54		25	20.92
26	1.64		26	19.83
27	1.79		27	19.73

Fuente: Data Sheet de la Antena Sectorial

Tabla N° 3.11. Extracto Tablas de datos del Patrón de Radiación Horizontal y Vertical de la Antena Sectorial para 3G

HORIZONTAL 360			VERTICAL 360	
0	0		0	14.51
1	0.01		1	10.13
2	0		2	6.87
3	0.01		3	4.51
4	0		4	2.74
5	0.02		5	1.5
6	0.05		6	0.63
7	0.08		7	0.14
8	0.09		8	0
9	0.14		9	0.21
10	0.16		10	0.77
11	0.2		11	1.69
12	0.25		12	3.07
13	0.29		13	4.78
14	0.35		14	7.13
15	0.41		15	10.4
16	0.48		16	14.41
17	0.54		17	20.18
18	0.64		18	22.33
19	0.74		19	19.7
20	0.81		20	17.77
21	0.92		21	17.18
22	1		22	17.57
23	1.1		23	18.67
24	1.22		24	20.34
25	1.32		25	21.8
26	1.43		26	22.43
27	1.56		27	22.08

Fuente: Data Sheet de la Antena Sectorial

- Datos de cada uno de los Sectores de la Antena Larco para las tecnologías 2G y 3 G, como se detalla en la Figura N° 3.25 y Figura N° 3.26.

Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 1	330 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	5°	
Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 2	90 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	5°	
Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 3	230 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	5°	

Figura N° 3.25. Datos de la Antena Larco para 2 G – Sector 1, 2, 3

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 1	325 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	8°	
Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 2	110 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	8°	
Potencia de RRU	42.00 dBm		Ángulo de azimuth sector 3	220 °
Perdida en el Cable	1.50 dB			
Ganancia antena	16.80 dBi		H piso	3 m
Altura de la antena	35 m			
Altura de la persona	1.5 m	Downtilt	8°	

Figura N° 3.26. Datos de la Antena Larco para 3 G – Sector 1, 2, 3

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

- **Estimación de los niveles de densidad de potencia.**

Con la ayuda de las herramientas de medición incluidas en el Software Google Earth se han medido las áreas de cobertura urbana por cada sector y los datos se han ingresado en la Hoja de Excel en la cual se muestra el área estimada para la cobertura de cada sector. De acuerdo a estos datos se puede estimar la intensidad de los niveles de Radiación No Ionizante en cada uno de 360 radiales, completando entre los tres sectores en la tecnología 2G y 3G un total de 36000 muestras.

Los parámetros considerados son los siguientes:

Radial: Es el ángulo de elevación referente al radiante seleccionado.

Distancia: Metraje que diferencia la extracción de cada muestra. Cada 10 mts se considera una muestra.

Pisos: Cantidad de niveles de cada vivienda.

Altura: Tamaño de la vivienda. Tamaño estándar: 3mts

Ángulo vertical: Es el ángulo formado por dos rectas situadas en el plano vertical, es decir entre un punto bajo y dos puntos más elevados. Dado que estos ángulos están situados en el plano vertical.

Radio (R): Cualquier segmento que une la Estación Base con un punto de su superficie. Para este caso, un $R = 500$ mts.

Discriminación horizontal (D_H): Es la reducción de la concentración de potencia de la variación del ángulo de desviación horizontal de la antena, generado por la misma naturaleza del patrón de radiación, el cual se concentra más en ciertos ángulos y atenúa más en otros.

Discriminación vertical (D_v): Es la reducción de la concentración de potencia que se da en ciertos ángulos dependiendo de la ubicación de la antena. Considerando la altura de la misma, se forma un ángulo de declinación vertical y de acuerdo a este se obtiene la discriminación de potencia.

PIRE: Es el producto de la potencia radiada por una antena, por la directividad, o de la potencia entregada por la ganancia, que es distribuida exactamente igual en todas las direcciones.

Densidad de potencia radial (Φ_R): Es la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección.

Para una descripción detallada del diagrama de radiación en el plano vertical se muestra la Figura N° 3.27, donde se ha tomado como muestra para este ejemplo, una celda de 300 mts de radio y las edificaciones circundantes, teniendo a una distancia de 130 mts de la estación base una edificación de 5 pisos. De acuerdo con las distancias indicadas y considerando los datos mencionados se obtiene el ángulo de declinación vertical (θ) para la antena.

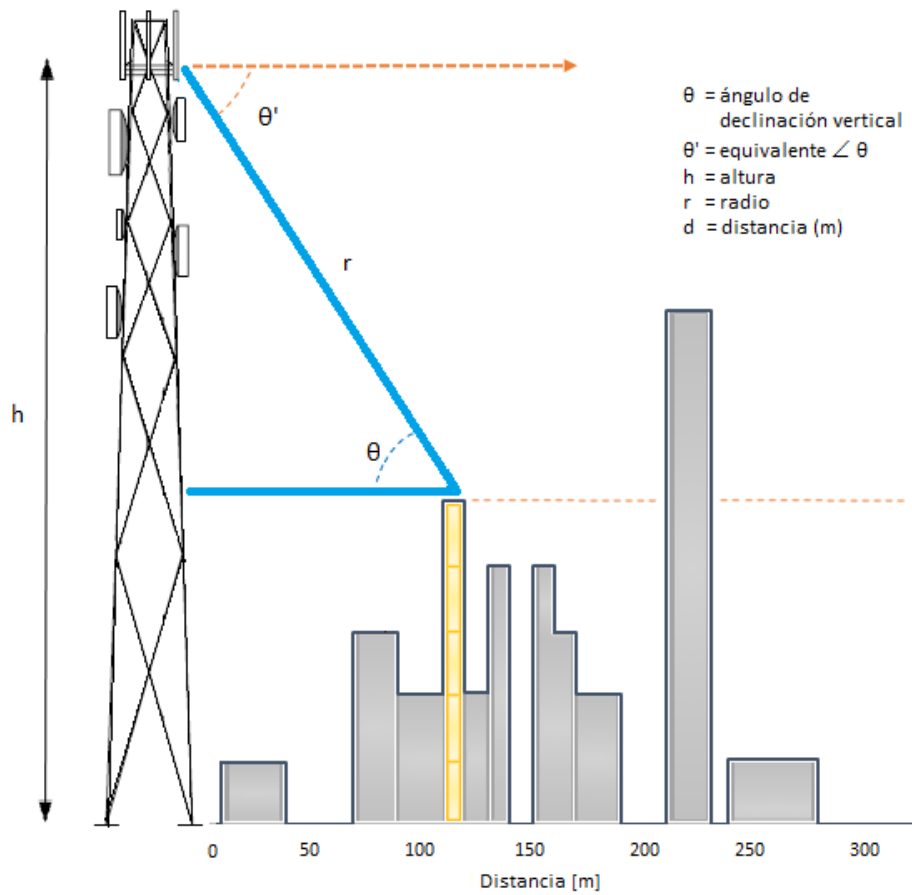


Figura N° 3.27. Descripción gráfica del cálculo del ángulo de declinación vertical

Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 3.28 ilustra el cálculo del ángulo de desviación horizontal (\emptyset), formado entre la dirección de apuntamiento de la antena y la dirección de desapuntamiento del punto a evaluar, en este caso el edificio donde se produce el ángulo de desapuntamiento, el cual produce una reducción en la concentración de potencia lo cual se evidencia según la forma del patrón de radiación de la antena.

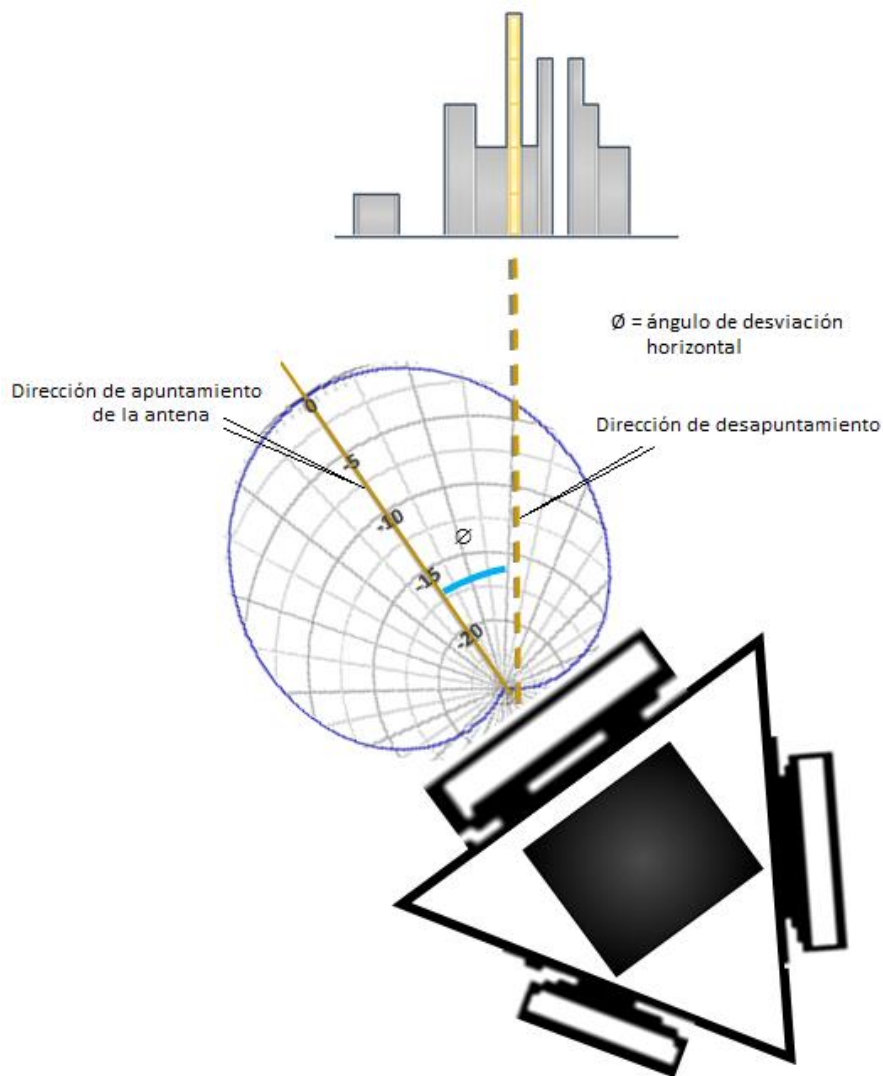


Figura N° 3.28. Descripción gráfica del cálculo del ángulo de desviación horizontal

Fuente: Elaboración propia

Conociendo la definición de cada uno de los parámetros anteriormente mencionados, se inicia en el Radial 0 del Sector que se requiera obtener los niveles de densidad de potencia, ya sea en 2G o 3G.

Entonces, se ingresa las mediciones recopiladas de Google Earth y Street View, entre ellos: la cantidad de pisos por edificación considerando una altura estándar de 3 metros por piso, la distancia (d) desde la Estación Base hasta llegar a los 500 mts, tomando una muestra cada 10 mts. Sobre la base de las consideraciones anteriores, la tabla puede calcular el Ángulo Vertical, el radio (R) en él que se encuentra la edificación hasta la Estación Movistar Larco, el cual oscila de 0 a 500 mts.

De la misma manera se calcula la Discriminación Horizontal (D_H) y Vertical (D_V), el PIRE y lo más importante la Densidad de potencia ($\emptyset R$) que recibe cada edificación por piso. La Tabla N° 3.12 muestra cada uno de los parámetros descritos.

Tabla N° 3.12. Parámetros de la Hoja de Procesamiento de información

Radial	Distancia	Pisos	Altura	Ángulo Vertical	R	DH (dB)	DV (dB)	PIRE (dBm)	$\emptyset R$
0	10	0	0	73.38	34.96	2.19	34.72	20.39	7.12 $\mu W/m^2$
0	20	2	6	53.97	34.00	2.19	30.55	24.56	19.67 $\mu W/m^2$
0	20	1	3	56.75	36.47	2.19	24.95	30.16	62.02 $\mu W/m^2$
0	20	0	0	59.16	39.02	2.19	23.28	31.83	79.74 $\mu W/m^2$
0	30	2	6	42.51	40.70	2.19	29.54	25.57	17.31 $\mu W/m^2$
0	30	1	3	45.47	42.78	2.19	25.95	29.16	35.85 $\mu W/m^2$
0	30	0	0	48.15	44.97	2.19	27.81	27.30	21.12 $\mu W/m^2$
0	40	2	6	34.51	48.54	2.19	31.55	23.56	7.67 $\mu W/m^2$
0	40	1	3	37.33	50.30	2.19	30.94	24.17	8.21 $\mu W/m^2$
0	40	0	0	39.95	52.18	2.19	40.15	14.96	0.92 $\mu W/m^2$
0	50	3	9	26.10	55.68	2.19	19.82	35.29	86.78 $\mu W/m^2$
0	50	2	6	28.81	57.06	2.19	21.81	33.30	52.25 $\mu W/m^2$
0	50	1	3	31.38	58.57	2.19	33.46	21.65	3.39 $\mu W/m^2$
0	50	0	0	33.82	60.19	2.19	33.73	21.38	3.02 $\mu W/m^2$
0	60	2	6	24.62	66.00	2.19	21.83	33.28	38.90 $\mu W/m^2$
0	60	1	3	26.95	67.31	2.19	19.74	35.37	60.55 $\mu W/m^2$
0	60	0	0	29.18	68.72	2.19	22.61	32.50	29.98 $\mu W/m^2$
0	70	1	3	23.54	76.36	2.19	25.32	29.79	13.02 $\mu W/m^2$
0	70	0	0	25.57	77.60	2.19	20.29	34.82	40.05 $\mu W/m^2$
0	80	1	3	20.87	85.62	2.19	26.33	28.78	8.21 $\mu W/m^2$
0	80	0	0	22.72	86.73	2.19	28.75	26.36	4.57 $\mu W/m^2$
0	90	1	3	18.72	95.03	2.19	19.31	35.80	33.52 $\mu W/m^2$
0	90	0	0	20.42	96.03	2.19	24.06	31.05	11.00 $\mu W/m^2$
0	100	1	3	16.96	104.55	2.19	19.39	35.72	27.16 $\mu W/m^2$
0	100	0	0	18.52	105.46	2.19	19.14	35.97	28.27 $\mu W/m^2$
0	110	1	3	15.50	114.15	2.19	20.82	34.29	16.40 $\mu W/m^2$

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

- **Gráficos de Densidad de Potencia en función de la distancia según la altura de la edificación.**

Debido a la gran cantidad de datos, se muestran las gráficas de los radiales con los valores de densidad de potencia más altos, analizados para los 3 sectores en las tecnologías de 2G y 3G, presentados en el archivo de Excel “Procesamiento de información.xlsx”.

Asimismo, se encuentran casos comunes donde la radiación va en proporción de la edificación, es decir se puede tener niveles de densidad de potencia altos para edificaciones de 3 a más pisos, como se muestra en la Figura N° 3.29 y excepciones, en las que no necesariamente se observa que los niveles de densidad de potencia se concentren más en las edificaciones que tienen mayor altura, en específico en el piso más alto, sino en parte media del edificio como se ve en la Figura N° 3.30.

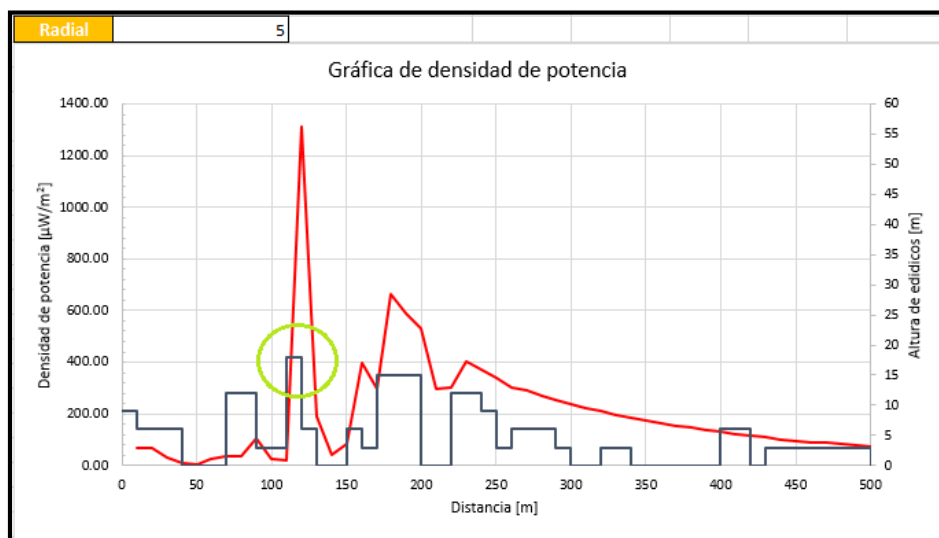


Figura N° 3.29. Caso común de exposición de densidad de potencia

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

El Radial 5, describe el caso común de exposición de densidad de potencia, donde se observa una edificación de 6 pisos, la cual es proporcional a la densidad de potencia que recibe de la estación base.

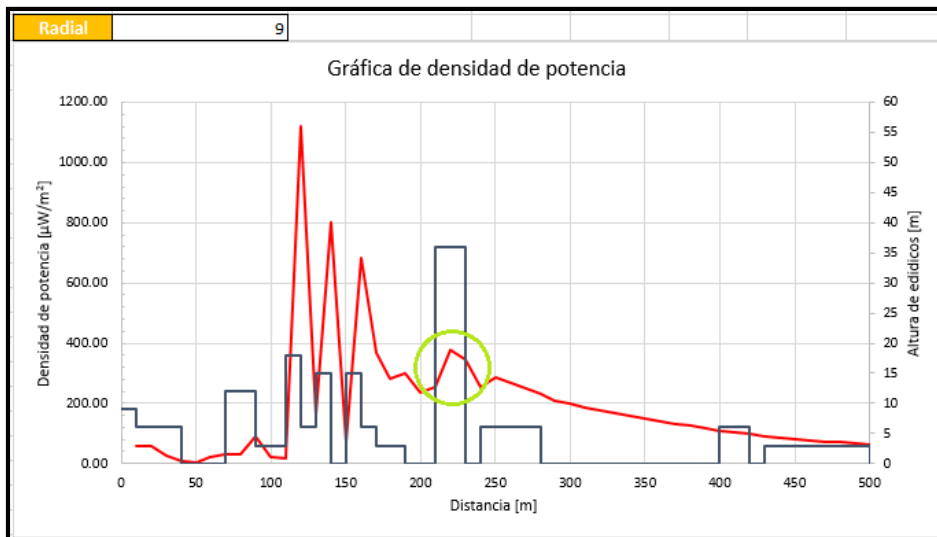


Figura N° 3.30. Caso particular de exposición de densidad de potencia

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Para el caso del Radial 9, muestra a una distancia de 250 metros una edificación con una altura de 35 metros aproximadamente donde la línea roja indica que los niveles de densidad de potencia tienen mayor concentración en la parte media del edificio, es decir a los 18 metros.

A continuación se presentan los gráficos más resaltantes de los niveles de densidad de potencia correspondientes a las edificaciones de los 3 sectores de la Estación Movistar Larco.

a. Gráficos de los niveles de densidad de potencia más resaltantes en 2G

Sector 1 - 2G

Radial 2

El radial 2 representa un ángulo 2° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

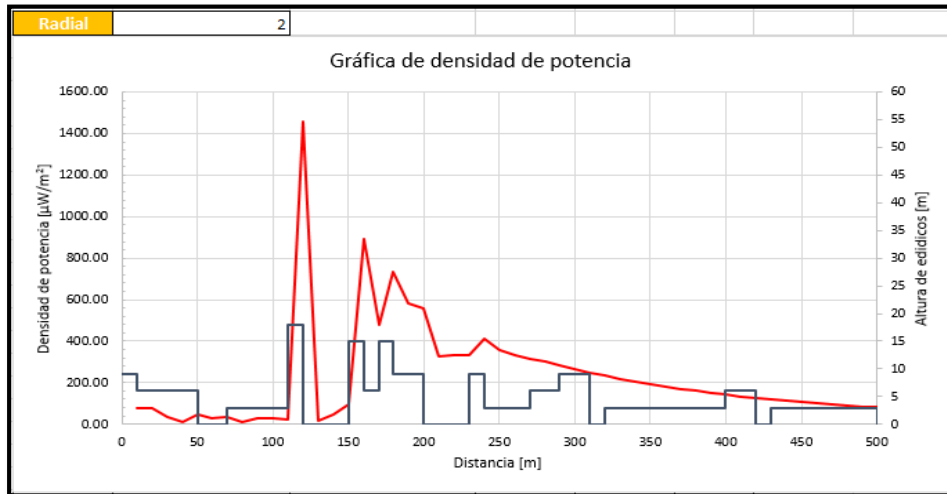


Figura N° 3.31. Gráfico Radial 2 – Sector 1

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Sector 2 - 2G

Radial 68

El radial 68 representa un ángulo 68° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

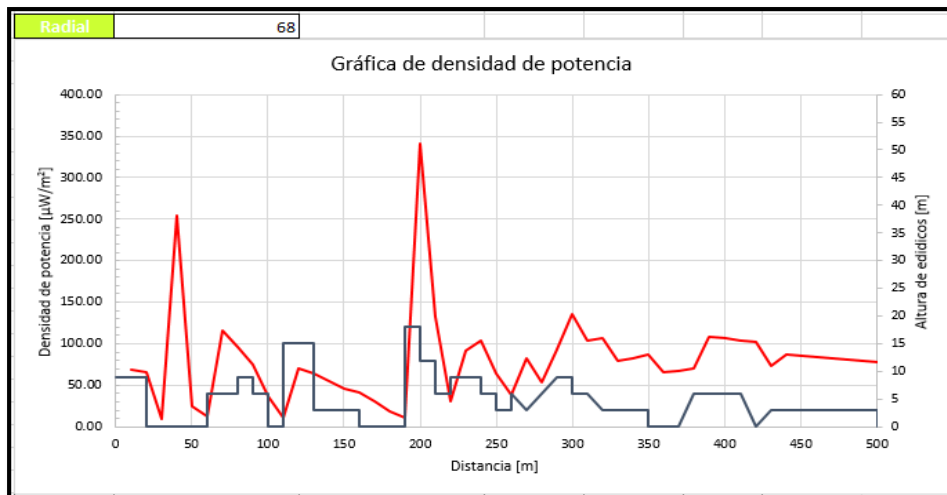


Figura N° 3.32. Gráfico Radial 68 – Sector 2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Sector 3 - 2G

Radial 6

El radial 6 representa un ángulo 6° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

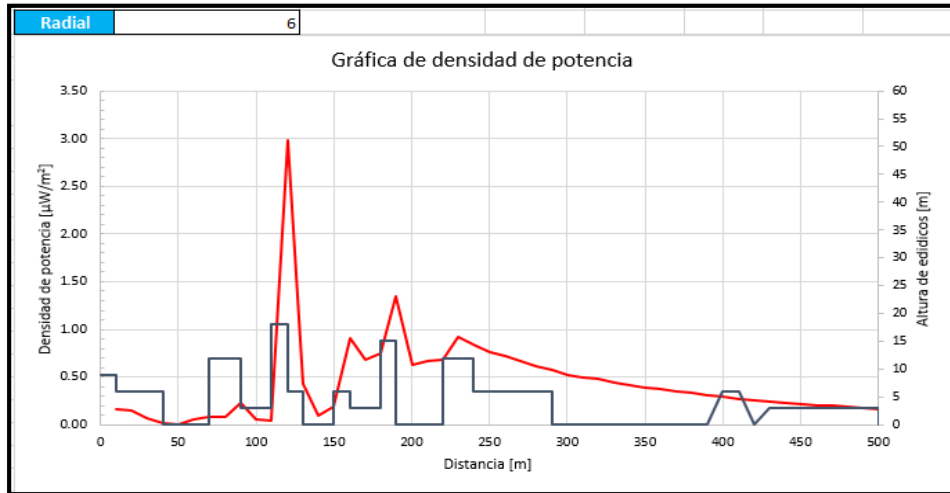


Figura N° 3.33. Gráfico Radial 6 – Sector 3

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

b. Gráficos de los niveles de densidad de potencia más resaltantes en 3G

Sector 1 - 3G

Radial 3

El radial 3 representa un ángulo 3° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

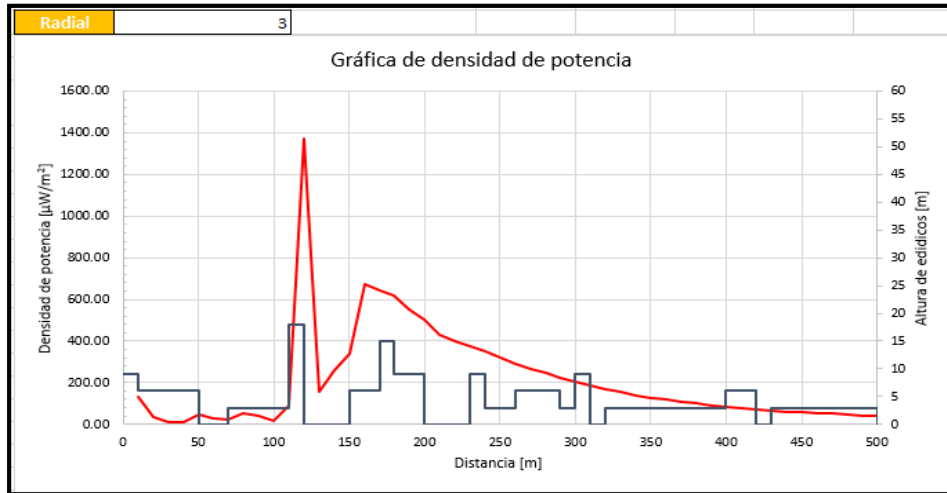


Figura N° 3.34. Gráfico Radial 3 – Sector 1

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Sector 2 - 3G

Radial 9

El radial 9 representa un ángulo 9° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

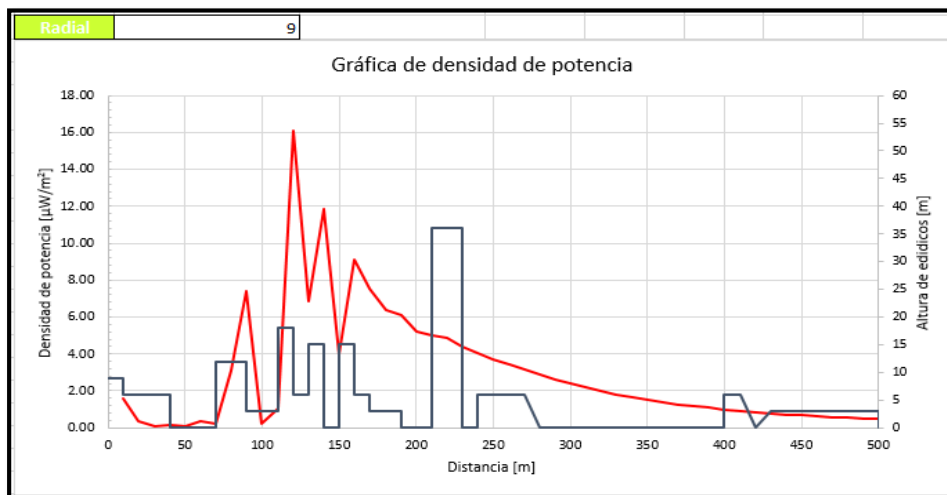


Figura N° 3.35. Gráfico Radial 9 – Sector 2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Sector 3 - 3G

Radial 12

El radial 12 representa un ángulo 12° con respecto al norte. Asimismo se presenta los resultados de la densidad de potencia en ese radial.

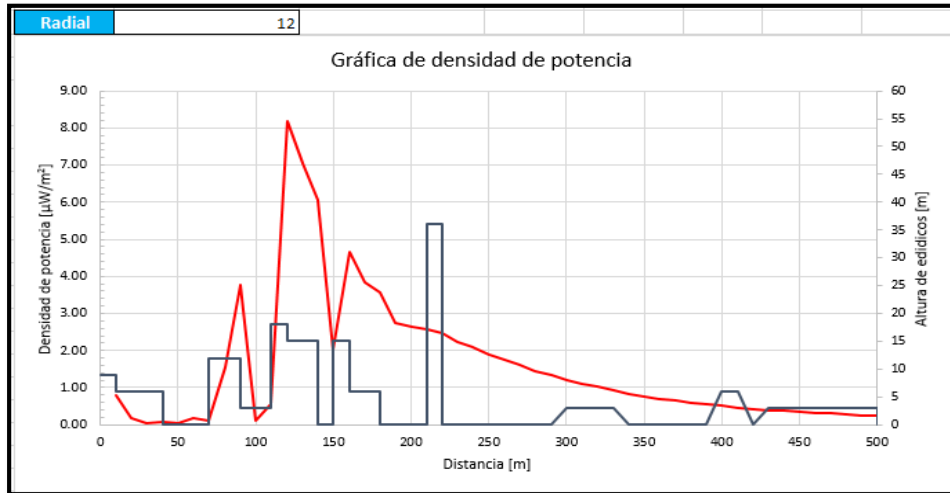


Figura N° 3.36. Gráfico Radial 12 – Sector 3

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

- **Tablas comparativas entre los niveles de densidad de potencia estimados, clasificados por tipo de edificación.**

Con los datos mencionados anteriormente se procede a identificar los tipos de edificación según las alturas presentes en cada uno de los 3 sectores de la Estación Movistar Larco.

Se identificó las edificaciones, según la siguiente tabla de clasificación:

Tabla N° 3.13. Clasificación de edificaciones según la altura

Tipo de Edificación según la altura	Pisos
Áreas abiertas	0 pisos
Viviendas comunes	1 ≤ 4 pisos
Edificios	5 a + pisos

Fuente: Elaboración propia

Conociendo esta clasificación, en la hoja de cálculo de Excel denominada Procesamiento de información, se seleccionan las alturas máximas de cada edificación, las cuales se clasificaran de acuerdo al tipo de edificación según la altura.

La figura N° 3.37 muestra la selección de las alturas máximas en las edificaciones correspondientes al Radial 14.

Radial	Distancia	Pisos	Altura
14	10	3	9
14	10	2	6
14	10	1	3
14	10	0	0
14	20	2	6
14	20	1	3
14	20	0	0
14	30	2	6
14	30	1	3
14	30	0	0

Figura N° 3.37. Selección de alturas máximas en el Radial 14

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Seleccionadas las alturas máximas en cada uno de los 3 sectores de la Estación Movistar Larco en las tecnologías 2G y 3G respectivamente, se procedió a clasificar las edificaciones en áreas abiertas, viviendas comunes y edificios.

La siguiente tabla muestra un extracto de la identificación de las edificaciones según la altura.

Tabla N° 3.14. Extracto de la Clasificación de Edificaciones según la altura

Radial	Distancia	Pisos	ØR (Densidad potencia)	Tipo de edificación
0	10	0	3.82 µW/m2	Areas abiertas
0	20	2	10.56 µW/m2	Viviendas comunes
0	30	2	9.29 µW/m2	Viviendas comunes
0	40	2	4.12 µW/m2	Viviendas comunes
0	50	3	46.57 µW/m2	Viviendas comunes
0	60	2	20.88 µW/m2	Viviendas comunes
0	70	1	6.99 µW/m2	Viviendas comunes
0	80	1	4.40 µW/m2	Viviendas comunes
0	90	1	17.99 µW/m2	Viviendas comunes
0	100	1	14.58 µW/m2	Viviendas comunes
0	110	1	8.80 µW/m2	Viviendas comunes
0	120	6	838.58 µW/m2	Edificios
0	130	0	11.02 µW/m2	Areas abiertas
0	140	0	26.68 µW/m2	Areas abiertas
0	150	0	54.29 µW/m2	Areas abiertas
0	160	5	513.11 µW/m2	Edificios
0	170	2	275.73 µW/m2	Viviendas comunes
0	180	5	421.89 µW/m2	Edificios
0	190	3	335.14 µW/m2	Viviendas comunes
0	200	3	319.47 µW/m2	Viviendas comunes
0	210	3	296.62 µW/m2	Viviendas comunes
0	220	0	191.84 µW/m2	Areas abiertas
0	230	0	192.53 µW/m2	Areas abiertas
0	240	1	213.47 µW/m2	Viviendas comunes
0	250	1	204.87 µW/m2	Viviendas comunes
0	260	1	193.01 µW/m2	Viviendas comunes

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Terminada la clasificación se procede a construir las tablas comparativas entre la densidad de potencia que representan las áreas abiertas, las viviendas comunes y los edificios en la tecnología de 2G y 3G, para luego elaborar las tablas comparativas de los niveles máximos globales alcanzados por cada tipo de edificación.

a. Comparación de niveles máximos de densidad de potencia según la altura de las edificaciones en la tecnología 2G

Conociendo los niveles máximos de cada sector para la tecnología de 2G como se puede ver en el Anexo 2, se generó una nueva comparativa de todos los valores con la finalidad de conocer cuáles son los niveles máximos para 2G, según áreas abiertas, viviendas comunes y edificios.

La Tabla N° 3.15 presenta un extracto de los niveles de densidad de potencia máximos estimados para cada uno de los tres tipos de edificaciones clasificados según la altura.

Tabla N° 3.15. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia en 2G

Niveles máximos de densidad de potencia según el tipo edificación		
Áreas Abiertas	Viviendas comunes	Edificios
358.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	648.40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1562.59 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
358.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	624.49 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1513.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
357.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	623.51 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1458.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
357.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	604.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1415.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
347.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	602.35 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1360.96 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
347.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	595.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1314.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
346.13 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	582.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1264.28 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
346.13 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	576.40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1210.17 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
336.11 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	565.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1166.39 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
334.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	555.56 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1119.04 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
334.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	552.72 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1073.61 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
333.79 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	543.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1030.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
333.61 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	539.17 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	983.66 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
333.61 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	535.18 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	956.12 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
332.26 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	518.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	925.79 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
330.73 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	513.79 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	892.30 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
328.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	497.49 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	866.41 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
328.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	479.49 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	835.07 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
327.70 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	465.35 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	801.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
325.44 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	429.32 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	786.13 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
324.94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	415.55 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	775.67 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
324.94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	412.84 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	768.64 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
323.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	412.41 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	761.19 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
323.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	401.44 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	740.76 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
322.46 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	400.24 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	737.43 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
318.93 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	398.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	733.66 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
318.93 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	397.78 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	712.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
317.30 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	386.03 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	710.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
313.67 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	385.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	704.24 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
311.34 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	384.88 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	684.72 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
311.34 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	383.52 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	684.69 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

La Figura N° 3.38 muestra la curva de tendencia correspondiente a los niveles máximos para áreas abiertas, viviendas comunes y edificios, sobresaliendo siempre este último. Demostrando así, que los edificios captan mayor radiación en comparación de las viviendas comunes.

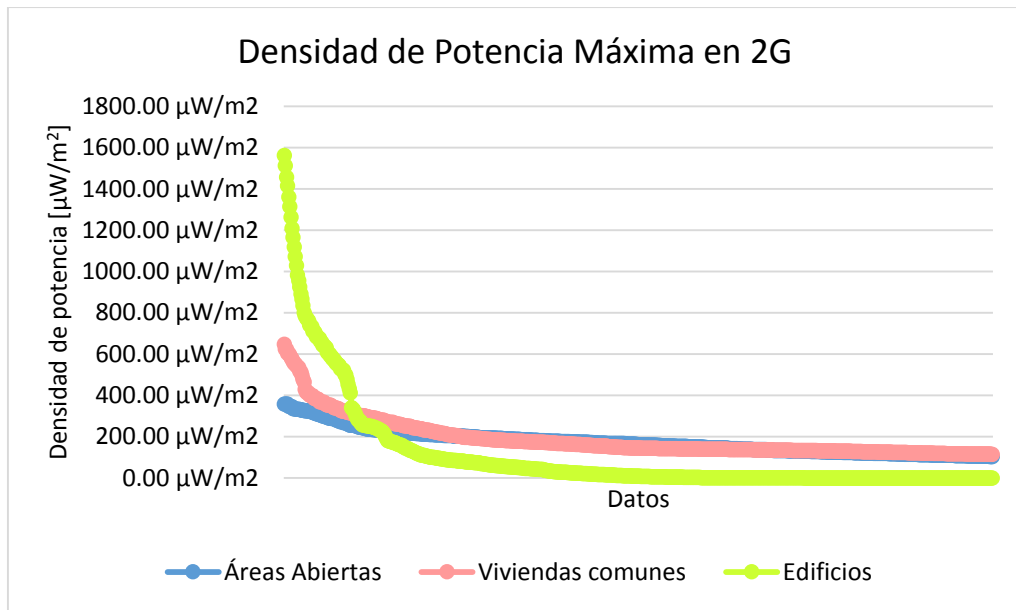


Figura N° 3.38. Curva de densidad de potencia máxima en 2G

Fuente: Elaboración propia

b. Comparación de niveles máximos de densidad de potencia según la altura de las edificaciones en la tecnología 3G

Obtenidos los niveles máximos de los tres sectores en la tecnología de 3G como se puede ver en el Anexo 2, se generó una nueva comparativa de todos los valores con la finalidad de conocer cuáles son los niveles máximos para 3G, según áreas abiertas, viviendas comunes y edificios.

La Tabla N° 3.16 presenta un extracto de los niveles de densidad de potencia máximos estimados para cada uno de los tres tipos de edificaciones clasificados según la altura en la tecnología de 3G.

Tabla N° 3.16. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia en 3G

Niveles máximos de densidad de potencia según el tipo edificación		
Áreas Abiertas	Viviendas comunes	Edificios
450.99 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1117.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1542.70 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
447.58 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1072.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1483.48 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
433.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1033.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1433.11 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
428.42 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	722.93 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1371.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
426.80 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	695.18 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1316.08 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
420.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	672.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1268.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
418.96 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	671.58 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1211.38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
411.03 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	645.31 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1164.88 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
404.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	642.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1115.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
401.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	621.97 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1062.38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
396.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	615.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1012.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
392.85 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	593.98 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	968.90 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
391.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	591.54 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	921.05 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
384.74 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	581.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	859.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
381.66 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	571.46 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	835.82 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
378.33 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	571.18 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	824.84 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
377.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	555.72 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	823.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
374.28 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	548.88 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	822.17 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
370.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	547.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	794.53 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
367.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	546.73 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	791.35 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
363.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	539.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	790.61 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
361.59 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	534.38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	784.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
354.54 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	532.56 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	763.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
354.14 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	527.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	758.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
348.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	524.79 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	747.14 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
344.53 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	514.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	747.08 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
340.54 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	513.30 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	721.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
339.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	511.51 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	715.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
331.80 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	509.89 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	708.55 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
328.26 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	497.85 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	692.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
325.85 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	494.99 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	679.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Con referencia a los datos anteriores se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.39, en donde se puede apreciar una variación de los niveles de densidad de potencia en los cuales los edificios siguen superando a las viviendas comunes y áreas abiertas, llegando a un valor pico de 1542.70 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

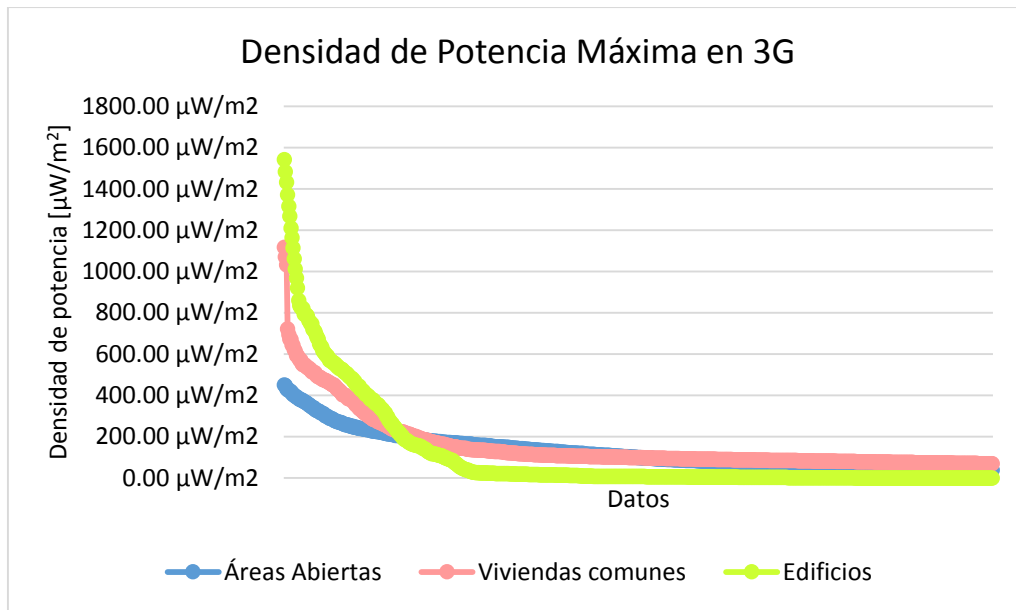


Figura N° 3.39. Curva de densidad de potencia máxima en 3G

Fuente: Elaboración propia

c. Comparación de niveles máximos de densidad de potencia global

La Tabla N° 3.17 presenta un extracto global de los niveles máximos de densidad de potencia, donde se puede apreciar los valores máximos obtenidos para cada tipo de edificación según su altura, sin importar estar en el mismo radial o a una misma distancia de la estación Movistar Larco, demostrando que la radiación puede variar sin considerar los parámetros mencionados.

Tabla N° 3.17. Extracto de niveles máximos de densidad de potencia global

Niveles máximos de densidad de potencia global según el tipo edificación		
Áreas Abiertas	Viviendas comunes	Edificios
450.99 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1117.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1562.59 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
447.58 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1072.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1542.70 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
433.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1033.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1513.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
428.42 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	722.93 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1483.48 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
426.80 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	695.18 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1458.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
420.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	672.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1433.11 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
418.96 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	671.58 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1415.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
411.03 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	648.40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1371.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
404.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	645.31 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1360.96 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
401.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	642.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1316.08 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
396.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	624.49 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1314.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
392.85 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	623.51 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1268.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
391.01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	621.97 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1264.28 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
384.74 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	615.16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1211.38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
381.66 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	604.68 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1210.17 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
378.33 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	602.35 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1166.39 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
377.77 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	595.29 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1164.88 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
374.28 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	593.98 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1119.04 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
370.83 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	591.54 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1115.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
367.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	582.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1073.61 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
363.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	581.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1062.38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
361.59 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	576.40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1030.02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
358.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	571.46 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1012.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
358.75 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	571.18 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	983.66 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
357.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	565.62 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	968.90 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
357.47 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	555.72 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	956.12 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
354.54 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	555.56 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	925.79 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
354.14 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	552.72 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	921.05 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
348.23 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	548.88 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	892.30 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
347.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	547.00 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	866.41 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
347.37 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	546.73 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	859.81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

De los valores máximos globales obtenidos por edificación, se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.40, donde se observa claramente una variación de los niveles de densidad de potencia, en los cuales los edificios siguen superando a las viviendas comunes y áreas abiertas, llegando a un valor pico de $1562.59 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

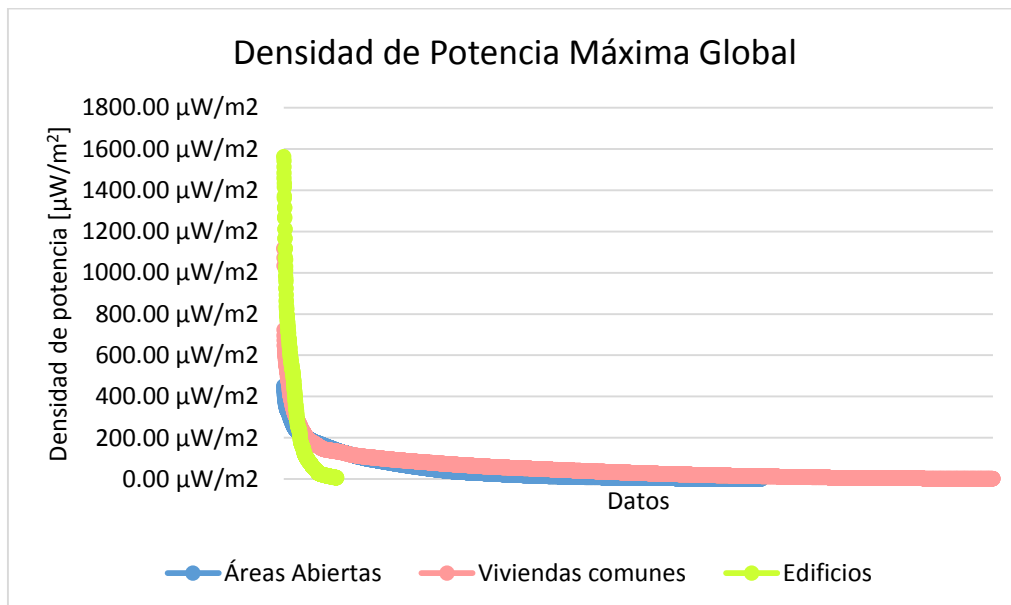


Figura N° 3.40. Curva de densidad de potencia máxima global

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 3.41, se evidencia la cantidad de muestras por tipo de edificación donde predominan las viviendas comunes con el 60%, seguidas de las áreas abiertas con un 35%, y finalmente los edificios con el 5% más representativo del total de muestras. Dicho esto y en base a los valores máximos obtenidos, los edificios superan los valores máximos de viviendas comunes dejando por debajo las áreas abiertas con $450.99 \mu\text{W}/\text{m}^2$.



Figura N° 3.41. Gráfico de densidad de potencia máxima global

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

Luego de haber realizado el estudio de los niveles máximos de densidad de potencia de acuerdo a las diferentes alturas de las edificaciones circundantes a la estación Movistar Larco en la Urbanización San Andrés, en este apartado se presentan los resultados obtenidos.

Caso 2G

Para la tecnología de 2G en áreas abiertas se obtuvo un nivel máximo de $358.75 \mu\text{W}/\text{m}^2$, en viviendas comunes $648.40 \mu\text{W}/\text{m}^2$, y para edificios un nivel máximo de $1562.59 \mu\text{W}/\text{m}^2$, donde las medias correspondientes a los valores obtenidos son las siguientes: en el caso de áreas abiertas $32.57 \mu\text{W}/\text{m}^2$, para viviendas comunes $31.83 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y en edificios $109.66 \mu\text{W}/\text{m}^2$, observándose diferencias significativas. Donde la diferencia entre áreas abiertas y viviendas comunes es mínima, a comparación de la diferencia predominante entre edificios y áreas abiertas.

Caso 3G

En el caso de 3G en áreas abiertas se obtuvo un nivel máximo de $450.99 \mu\text{W}/\text{m}^2$, en viviendas comunes $1117.37 \mu\text{W}/\text{m}^2$, y para edificios un nivel máximo de $1542.70 \mu\text{W}/\text{m}^2$, los cuales presentan una media de $22.62 \mu\text{W}/\text{m}^2$ para áreas abiertas, $20.31 \mu\text{W}/\text{m}^2$ para viviendas comunes y $113.07 \mu\text{W}/\text{m}^2$ en el caso de edificios, presentándose una gran diferencia entre edificios y áreas abiertas, en tanto, entre viviendas comunes y áreas abiertas la diferencia sigue siendo mínima.

A partir de los valores obtenidos en ambas tecnologías, se generó un consolidado total de los niveles máximos para cada tipo de edificación, donde las áreas abiertas presentan una media de $28.30 \mu\text{W}/\text{m}^2$, viviendas comunes $26.07 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y para edificios $111.36 \mu\text{W}/\text{m}^2$, destacando siempre una notable diferencia que aleja a este último de las otras edificaciones.

4.2. Discusión de resultados

De los resultados obtenidos anteriormente, se puede decir que la diferencia de densidad de potencia entre áreas abiertas y viviendas comunes en 2G es mínima, en relación a la comparativa existente entre edificios y viviendas comunes. Aun así, se muestra una diferencia significativa entre edificios y áreas abiertas donde los edificios superan 3 veces más al valor de las áreas abiertas sobrepasando los niveles máximos de las comparaciones anteriores. Por otra parte, en 3G la diferencia entre áreas abiertas y viviendas comunes es considerable, esta última sigue muy de cerca a los edificios con una ligera ventaja. De igual manera se presenta una diferencia predominante entre edificios y áreas abiertas la cual es superada ligeramente por los valores máximos de 2G.

Tras conocer los niveles máximos de densidad de potencia estimados según la altura de la edificación, cabe destacar que en ambas tecnologías el sector que más aporta en los niveles de densidad de potencia es el Sector 1, debido a la influencia del downtilt y el ángulo de azimut. En ese sentido, a mayor donwntilt se eleva el porcentaje de recepción en cada tipo de edificación.

Si bien es cierto, las viviendas comunes representan el 60% de muestras, seguidas de las áreas abiertas con un 35%, ambas presentan menor concentración de potencia en comparación de los edificios que poseen el 5% de la totalidad. En efecto, los edificios poseen los niveles máximos y promedios de densidad de potencia, los cuales superan tres veces la radiación existente en áreas abiertas y viviendas comunes, encontrándose diferencias significativas entre los diferentes tipos de edificaciones clasificados según su altura, indicando la validez de nuestra hipótesis.

Sin embargo, cabe resaltar que el mayor valor representado para cada tipo de edificación no supera el 1% de los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Ministerio del Ambiente.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para poder realizar un estudio de Radiaciones No Ionizantes, es necesario recolectar los datos técnicos de la estación celular, datos del perfil de elevación de las edificaciones para luego estimar los niveles de densidad de potencia de acuerdo a los ángulos de declinación vertical y desviación horizontal, sumando a esto los patrones de radiación de la antena, utilizando la ecuación de pérdida por espacio libre, sometida a las pérdidas que se generan por la discriminación horizontal y vertical de la antena, todo esto bajo los lineamientos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Ministerio del Ambiente .
- La Estación Movistar Larco utiliza equipos Huawei para la tecnología de 2G y 3G, los cuales poseen una potencia de transmisión de 40 Vatios y 16 dBi de ganancia de antena. Si bien es cierto, los patrones de radiación cambian con el ángulo horizontal y vertical, también influyen en los niveles de concentración de potencia calculados, las alturas de cada tipo de edificación.
- De acuerdo al estudio realizado de los niveles de densidad de potencia según la altura de la edificación recibidos de la Estación Movistar Larco, se llegó a obtener los niveles máximos de densidad de potencia, clasificándolos en áreas abiertas con un nivel máximo de $450.99 \mu\text{W}/\text{m}^2$, viviendas comunes $1117.37 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y para edificios un nivel máximo de $1562.59 \mu\text{W}/\text{m}^2$.
- De los resultados obtenidos, las viviendas comunes y áreas abiertas presentan menor concentración de potencia en comparación de los edificios, que reciben mayor concentración de potencia en relación a la cantidad de muestras que representan. En efecto, los edificios poseen los niveles máximos de densidad de potencia con un promedio de $111.36 \mu\text{W}/\text{m}^2$, el cual supera tres veces la radiación existente en áreas abiertas y viviendas comunes, encontrándose diferencias significativas entre las edificaciones clasificados según su altura.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda recolectar más muestras de zonas donde existan más edificaciones altas, para aumentar la cantidad de muestras de edificios en relación a áreas abiertas y viviendas comunes.
- Tener un Catastro Digital para facilitar el levantamiento de información de las edificaciones, que contenga datos cartográficos de las zonas urbanas y el levantamiento de alturas de manera manual por cada radial, para luego clasificar las edificaciones en áreas abiertas, viviendas comunes y edificios.
- Mejorar la herramienta de Excel para automatizar la selección de la altura máxima de cada edificación.
- Considerar más estaciones celulares de diferentes operadores, lo que permitiría obtener más resultados que avalen el estudio de las Radiaciones No Ionizantes según la altura de la edificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

Sears, Zemansky (2009) *Física Universitaria Vol. 2.* (12^a ed.). México: Pearson Educación

Tipler, Paul A. y Mosca, G. (2010) *Física para la ciencia y Tecnología* (6^a ed.). Barcelona, España: Reverté

Landau, L. y Lifshitz, E. (1992) *Teoría clásica de los campos* Vol. 2 (2^a ed.). Barcelona, España: Reverté

Burbano de Ercilla, S., García, E., & Muñoz, C. (2003) *Física general* (32^a ed.). Barcelona, España: Tebar

Tanenbaum, A. (1997) *Redes de computadoras* (3^a ed.). México: Pearson Educación

Seybold, J. (2005) *Introduction to RF Propagation* United States of America: John Wiley & Sons Inc.

Tomasi W. (2003) *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (4^a ed.). México: Pearson Educación

Kraus, J. (1997) *Antennas* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Inc.

Berral, I. (2007) *Instalación de antenas de televisión* (2^a ed.). Madrid, España: Paraninfo

Tesis

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.

- Gallegos, 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
- Ríos, J. (2013) *Estudio de radiaciones no ionizantes para una estación base GSM 850 MHZ ubicada en la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo*. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú.
- Tubón, G. (2010) *Estudio estadístico comparativo sobre emisiones no ionizantes emitidas por radio bases de telefonía celular y estaciones transmisoras de radio y televisión en la ciudad de Riobamba*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador

Documentos en línea

Chavarry Miguel A. *Antenas de telefonía móvil*

Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos40/antenas-telefoniamovil/antenas-telefoniamovil.shtml>

Cruz Ornetta V. (2005) *La telefonía y su Salud*.

Recuperado de https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/faq/pregf-acercantenas/files/telfoniamovil_y_su_salud.pdf

Rodríguez, E. (2011). *Las RNI en el sector de las Telecomunicaciones – Normatividad y mediciones*.

Recuperado de

http://rni.inictel-uni.edu.pe/eventos/conferencia/Normatividad_y_Mediciones_de_RNI_en_el_Sector_de_Telecomunicaciones.pdf

Unidad reguladora de Servicios de Comunicaciones Radiaciones No Ionizantes (RNI) - Documentación Técnica URSEC

<https://www.ursec.gub.uy/inicio/informacion-tecnica/telecomunicaciones/telecomunicaciones-rni/radiaciones/>

Documentos

Huawei Technologies co., LTD. BTS3900 (Ver.D) V100R008C00. Hardware Description

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.

Leyes y decretos

Resolución Ministerial N° 612-2004 – MTC/03 *Norma Técnica Lineamientos para el desarrollo de los estudios teóricos de radiaciones no ionizantes. Predicción de los campos de radiofrecuencia fuera del haz principal.* Diario oficial El Peruano. Lima, Perú, 17 de agosto de 2004.

Decreto Supremo N° 038-2003 – MTC *Establecen Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.* Diario oficial El Peruano. Lima, Perú, 6 de julio de 2003. Pág. 247642-247647

Decreto Supremo N° 010-2005-PCM – Ministerio del Ambiente. *Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Radiaciones No Ionizantes.* Lima, Perú, 2 de febrero de 2005.

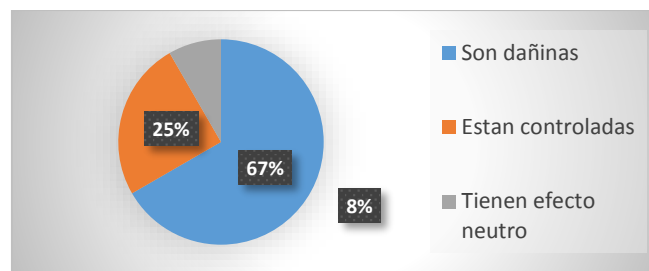
Decreto Supremo N° 003-2016 – Vivienda. *Decreto Supremo que modifica la norma técnica e.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda.* Diario oficial El Peruano. Lima, Perú, 24 de enero de 2016. Pág. 576297-576298.

Ley N° 27446. *Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental Resolución Ministerial N° 186-2015 – MINAM.* Diario oficial El Peruano. Lima, Perú, 30 de julio de 2015. Pág. 558441-558443.

DESARROLLO

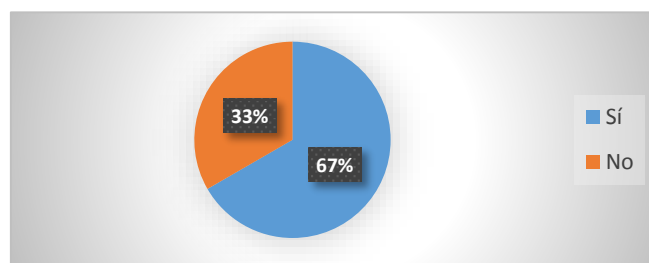
1. ¿Qué opinión tiene de la emisión de radiaciones emitidas por las antenas celulares?

Son dañinas	66.67 %
Están controladas	25.00 %
Tienen efecto neutro	8.33 %



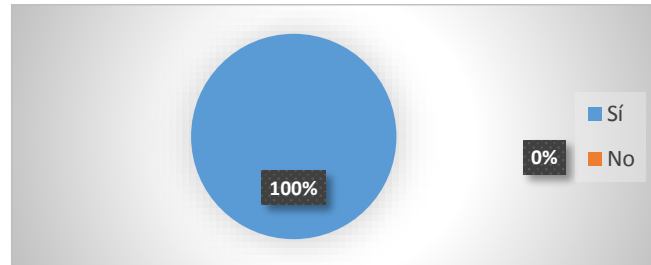
2. ¿Tiene alguna preocupación respecto a la Estación Base Celular cercana a su vivienda?

Si	66.67 %
No	33.33 %



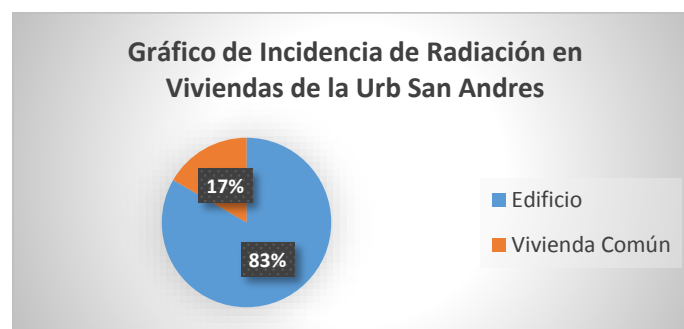
3. ¿Desearía saber usted a que nivel de radiación está expuesto al estar cerca de una estación celular?

Si	91.67 %
No	0 %



4. ¿Dónde cree usted que la exposición a radiaciones es más fuerte?

Viviendas comunes	17 %
Edificios	83 %



ANEXO 2

TABLAS COMPARATIVAS DE LOS NIVELES MAXIMOS DE DENSIDAD DE POTENCIA POR SECTORES PARA 2G Y 3G

a. Comparación de niveles de densidad de potencia según la altura de las edificaciones en la tecnología 2G

La Tabla N° 3.18 presenta un extracto de los niveles de densidad de potencia para el Sector 1 de la estación Movistar Larco en la Tecnología de 2G, donde se puede apreciar los niveles máximos, los cuales no necesariamente tienen que estar en el mismo radial o a una misma distancia, significando así que pueden variar sin importar los parámetros mencionados.

Para este caso se presenta una gran variación entre los niveles de densidad de potencia respecto a los edificios, donde se puede encontrar que a una distancia de 120 metros la radiación supera los $1500 \mu\text{W}/\text{m}^2$, mientras que en las viviendas comunes a la misma distancia la radiación es de $648 \mu\text{W}/\text{m}^2$, en comparación de las áreas abiertas a una distancia de 230 metros se encuentra menor radiación a las edificaciones mencionadas anteriormente.

Tabla N° 3.18. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 1

SECTOR 1								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
0	230	358.75 µW/m2	3	120	648.40 µW/m2	0	120	1562.59 µW/m2
0	220	357.47 µW/m2	0	190	624.49 µW/m2	1	120	1513.02 µW/m2
1	230	347.37 µW/m2	4	120	623.51 µW/m2	2	120	1458.29 µW/m2
1	220	346.13 µW/m2	1	190	604.68 µW/m2	3	120	1415.29 µW/m2
2	230	334.81 µW/m2	5	120	602.35 µW/m2	4	120	1360.96 µW/m2
2	220	333.61 µW/m2	0	200	595.29 µW/m2	5	120	1314.75 µW/m2
2	210	328.62 µW/m2	2	190	582.81 µW/m2	6	120	1264.28 µW/m2
3	230	324.94 µW/m2	1	200	576.40 µW/m2	7	120	1210.17 µW/m2
3	220	323.77 µW/m2	3	190	565.62 µW/m2	8	120	1166.39 µW/m2
3	210	318.93 µW/m2	2	200	555.56 µW/m2	9	120	1119.04 µW/m2
4	220	311.34 µW/m2	0	210	552.72 µW/m2	10	120	1073.61 µW/m2
4	210	306.69 µW/m2	4	190	543.91 µW/m2	11	120	1030.02 µW/m2
5	220	300.77 µW/m2	3	200	539.17 µW/m2	12	120	983.66 µW/m2
5	210	296.28 µW/m2	1	210	535.18 µW/m2	0	160	956.12 µW/m2
6	220	289.22 µW/m2	4	200	518.47 µW/m2	1	160	925.79 µW/m2
4	200	288.32 µW/m2	0	170	513.79 µW/m2	2	160	892.30 µW/m2
6	210	284.90 µW/m2	1	170	497.49 µW/m2	7	140	866.41 µW/m2
7	220	276.84 µW/m2	2	170	479.49 µW/m2	8	140	835.07 µW/m2
7	210	272.71 µW/m2	3	170	465.35 µW/m2	9	140	801.16 µW/m2
6	200	267.84 µW/m2	3	160	429.32 µW/m2	0	180	786.13 µW/m2
8	210	262.84 µW/m2	4	230	415.55 µW/m2	11	130	775.67 µW/m2
7	200	256.37 µW/m2	4	160	412.84 µW/m2	10	140	768.64 µW/m2
9	240	255.56 µW/m2	2	240	412.41 µW/m2	1	180	761.19 µW/m2
9	210	252.17 µW/m2	5	230	401.44 µW/m2	12	130	740.76 µW/m2
8	200	247.10 µW/m2	3	240	400.24 µW/m2	11	140	737.43 µW/m2
10	240	245.18 µW/m2	5	160	398.83 µW/m2	2	180	733.66 µW/m2
10	210	241.93 µW/m2	0	240	397.78 µW/m2	3	180	712.02 µW/m2
10	250	237.19 µW/m2	6	230	386.03 µW/m2	13	130	710.68 µW/m2
9	200	237.07 µW/m2	1	240	385.16 µW/m2	12	140	704.24 µW/m2
11	240	235.23 µW/m2	4	240	384.88 µW/m2	9	160	684.72 µW/m2
0	330	233.60 µW/m2	6	160	383.52 µW/m2	4	180	684.69 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

De acuerdo a los datos obtenidos de las tablas comparativas de los niveles de densidad de potencia para el sector 1, se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.42, en donde se puede observar una gran variación respecto a la densidad de potencia que representan los edificios, la cual supera los demás tipos de edificaciones, alcanzando así casi los 1600 µW/m².

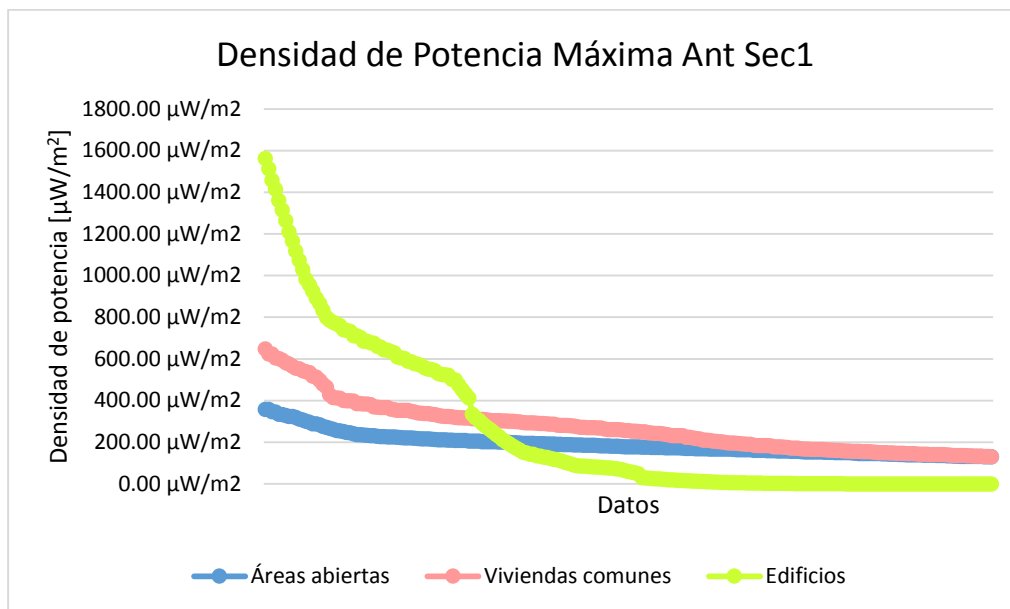


Figura N° 3.42. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 1 en 2G

Fuente: Elaboración propia

En el Sector 2 la diferencia de los niveles de densidad de potencia es mínima en comparación del Sector 1, donde se puede apreciar la misma distancia de 200 metros entre edificios y viviendas comunes con una ligera diferencia de $78.36 \mu\text{W}/\text{m}^2$, presentándose en el caso de las áreas abiertas una densidad de $336.11 \mu\text{W}/\text{m}^2$ a una distancia de 40 metros de la Estación Movistar Larco. Ver Tabla N° 3.19.

Tabla N° 3.19. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 2

SECTOR 2								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
86	40	336.11 µW/m2	45	200	262.24 µW/m2	68	200	340.60 µW/m2
85	40	333.79 µW/m2	44	200	252.18 µW/m2	67	200	332.08 µW/m2
84	40	332.26 µW/m2	40	150	251.12 µW/m2	77	210	282.33 µW/m2
83	40	330.73 µW/m2	44	210	242.12 µW/m2	76	210	276.54 µW/m2
82	40	327.70 µW/m2	43	200	240.27 µW/m2	87	140	257.73 µW/m2
81	40	325.44 µW/m2	39	150	239.27 µW/m2	86	140	257.14 µW/m2
80	40	322.46 µW/m2	45	230	239.12 µW/m2	85	140	255.37 µW/m2
79	40	317.30 µW/m2	44	220	232.32 µW/m2	84	140	254.20 µW/m2
78	40	313.67 µW/m2	43	210	230.69 µW/m2	83	140	253.03 µW/m2
77	40	308.66 µW/m2	44	230	229.94 µW/m2	75	200	252.02 µW/m2
76	40	302.33 µW/m2	38	150	226.93 µW/m2	82	140	250.71 µW/m2
75	40	296.81 µW/m2	42	200	226.83 µW/m2	71	210	249.89 µW/m2
74	40	291.39 µW/m2	66	30	221.82 µW/m2	81	140	248.98 µW/m2
73	40	286.73 µW/m2	43	220	221.35 µW/m2	80	140	246.70 µW/m2
72	40	279.56 µW/m2	43	230	219.09 µW/m2	70	210	244.20 µW/m2
71	40	273.20 µW/m2	42	210	217.79 µW/m2	79	140	242.76 µW/m2
70	40	266.98 µW/m2	65	30	216.27 µW/m2	78	140	239.98 µW/m2
69	40	257.32 µW/m2	41	200	215.63 µW/m2	69	210	235.37 µW/m2
68	40	253.79 µW/m2	37	150	213.74 µW/m2	71	200	231.97 µW/m2
67	40	247.44 µW/m2	42	220	208.97 µW/m2	70	200	226.69 µW/m2
66	40	240.70 µW/m2	41	210	207.03 µW/m2	69	200	218.49 µW/m2
65	40	234.68 µW/m2	64	30	207.01 µW/m2	83	130	179.01 µW/m2
64	40	224.63 µW/m2	42	230	206.83 µW/m2	82	130	177.37 µW/m2
63	40	218.51 µW/m2	40	200	205.45 µW/m2	81	130	176.15 µW/m2
62	40	211.09 µW/m2	36	150	203.65 µW/m2	80	130	174.53 µW/m2
61	40	206.76 µW/m2	63	30	201.37 µW/m2	79	130	171.74 µW/m2
60	40	199.75 µW/m2	41	220	198.65 µW/m2	78	130	169.78 µW/m2
45	220	179.16 µW/m2	40	210	197.26 µW/m2	77	130	167.06 µW/m2
45	240	178.85 µW/m2	73	250	197.04 µW/m2	76	130	163.63 µW/m2
45	210	176.48 µW/m2	41	230	196.62 µW/m2	75	130	160.65 µW/m2
45	250	173.02 µW/m2	39	200	195.75 µW/m2	74	130	157.72 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Con los datos mencionados anteriormente se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.43, en donde se puede apreciar una ligera variación de los niveles de densidad de potencia en los cuales a partir de los 200 µW/m² se empieza a notar la diferencia entre estos tres tipos de edificaciones clasificados según la altura.

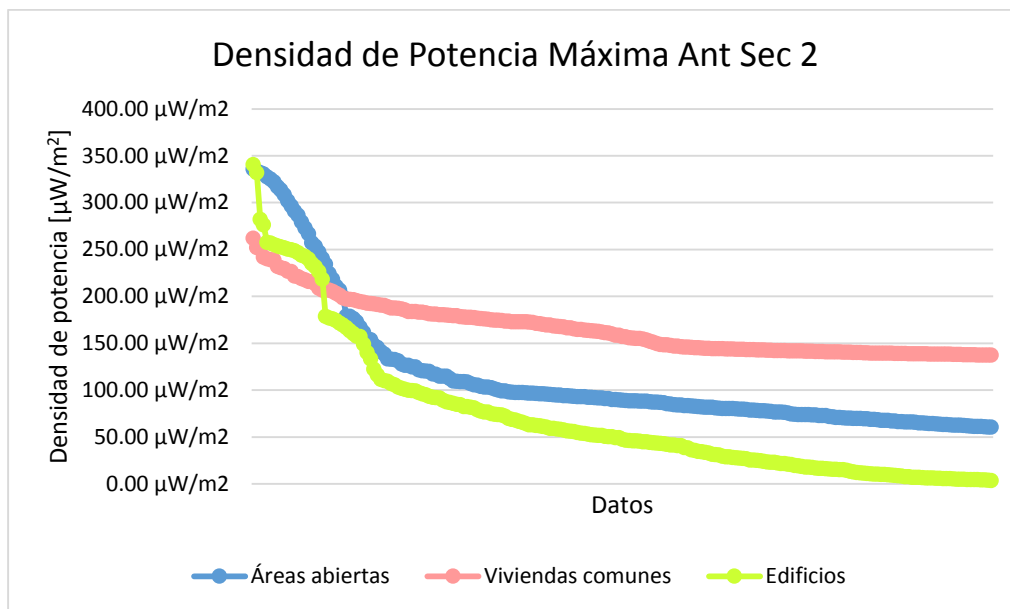


Figura N° 3.43. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 2 en 2G

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 3.20 muestra un extracto de los radiales con mayor densidad de potencia para el Sector 3, en los que se aprecia valores pequeños en comparación con los sectores mencionados líneas arriba, predominando siempre los edificios con mayor densidad de potencia.

Tabla N° 3.20. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 2G – Sector 3

SECTOR 3								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
41	190	0.70 µW/m2	40	150	1.36 µW/m2	6	120	2.98 µW/m2
27	210	0.69 µW/m2	36	150	1.34 µW/m2	1	120	2.59 µW/m2
43	190	0.69 µW/m2	39	150	1.34 µW/m2	2	120	2.51 µW/m2
6	220	0.68 µW/m2	33	150	1.23 µW/m2	4	120	2.32 µW/m2
6	210	0.67 µW/m2	41	200	1.19 µW/m2	8	120	2.26 µW/m2
40	190	0.65 µW/m2	43	200	1.17 µW/m2	7	120	2.20 µW/m2
27	200	0.65 µW/m2	41	210	1.15 µW/m2	13	130	2.10 µW/m2
36	190	0.64 µW/m2	43	210	1.12 µW/m2	3	120	2.06 µW/m2
39	190	0.64 µW/m2	38	150	1.12 µW/m2	0	120	2.05 µW/m2
13	230	0.64 µW/m2	40	200	1.11 µW/m2	5	120	2.04 µW/m2
13	220	0.64 µW/m2	41	220	1.10 µW/m2	15	130	2.04 µW/m2
33	200	0.64 µW/m2	37	150	1.10 µW/m2	13	140	2.00 µW/m2
13	240	0.64 µW/m2	36	200	1.10 µW/m2	11	120	1.97 µW/m2
45	220	0.64 µW/m2	39	200	1.10 µW/m2	12	120	1.97 µW/m2
45	240	0.63 µW/m2	41	230	1.09 µW/m2	15	140	1.94 µW/m2
27	270	0.63 µW/m2	35	150	1.08 µW/m2	13	150	1.88 µW/m2
6	200	0.63 µW/m2	43	220	1.07 µW/m2	15	150	1.82 µW/m2
13	210	0.63 µW/m2	40	210	1.07 µW/m2	9	120	1.78 µW/m2
42	190	0.63 µW/m2	42	200	1.07 µW/m2	16	140	1.72 µW/m2
45	210	0.63 µW/m2	43	230	1.06 µW/m2	13	160	1.71 µW/m2
15	230	0.62 µW/m2	36	210	1.05 µW/m2	15	160	1.65 µW/m2
15	220	0.62 µW/m2	39	210	1.05 µW/m2	8	140	1.62 µW/m2
15	240	0.62 µW/m2	1	190	1.03 µW/m2	16	150	1.61 µW/m2
13	250	0.62 µW/m2	40	220	1.02 µW/m2	1	160	1.58 µW/m2
45	250	0.61 µW/m2	42	210	1.02 µW/m2	7	140	1.57 µW/m2
15	210	0.61 µW/m2	40	230	1.01 µW/m2	2	160	1.54 µW/m2
41	180	0.61 µW/m2	36	220	1.01 µW/m2	11	130	1.48 µW/m2
27	190	0.60 µW/m2	39	220	1.01 µW/m2	12	130	1.48 µW/m2
32	200	0.60 µW/m2	34	150	1.01 µW/m2	16	160	1.47 µW/m2
15	250	0.60 µW/m2	2	190	1.00 µW/m2	11	140	1.41 µW/m2
13	260	0.60 µW/m2	39	230	1.00 µW/m2	12	140	1.41 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Con los datos obtenidos se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.44, en donde se puede apreciar una variación de los niveles de densidad de potencia en los cuales los edificios siguen superando a las viviendas comunes y áreas abiertas.

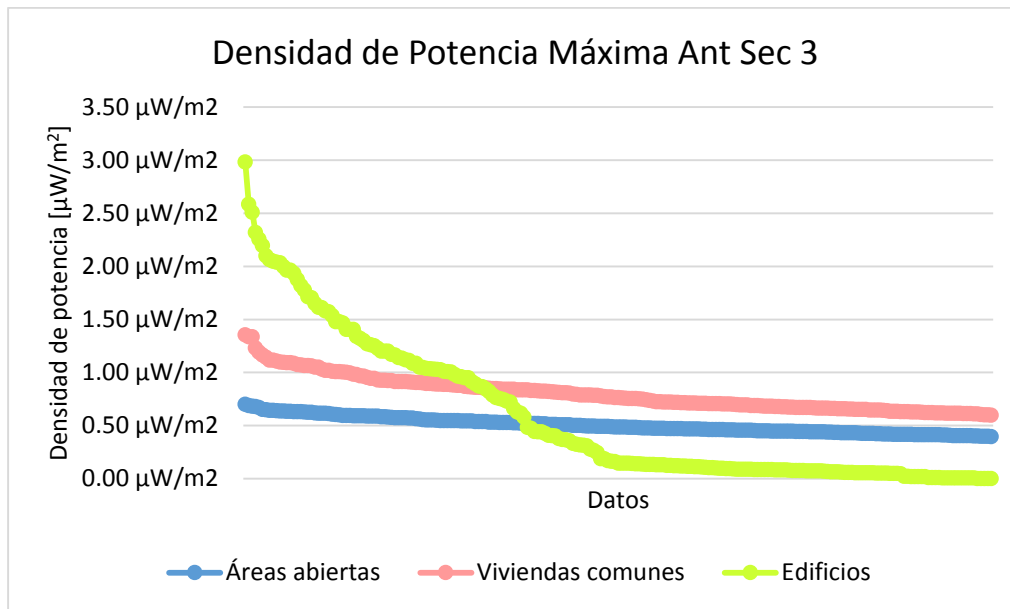


Figura N° 3.44. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 3 en 2G

Fuente: Elaboración propia

b. Comparación de niveles de densidad de potencia según la altura de las edificaciones en la tecnología 3G

La Tabla N° 3.21 presenta un extracto de los niveles de densidad de potencia para el Sector 1 de la estación Movistar Larco en la Tecnología de 3G, donde se puede apreciar los niveles máximos, los cuales no necesariamente tienen que estar en el mismo radial o a una misma distancia, significando así que pueden variar sin importar los parámetros mencionados.

Para este caso se presenta una gran variación entre los niveles de densidad de potencia respecto a los edificios, donde se puede encontrar que a una distancia de 120 metros la radiación supera los 1500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, mientras que en las viviendas comunes a la misma distancia la radiación es de 1100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, en comparación de las áreas abiertas a una distancia de 220 metros encontramos menor radiación a las edificaciones mencionadas anteriormente.

Tabla N° 3.21. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 1

SECTOR 1								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
0	220	450.99 µW/m2	3	120	1117.37 µW/m2	0	120	1542.70 µW/m2
2	210	447.58 µW/m2	4	120	1072.00 µW/m2	1	120	1483.48 µW/m2
1	220	433.68 µW/m2	5	120	1033.23 µW/m2	2	120	1433.11 µW/m2
3	210	428.42 µW/m2	0	170	722.93 µW/m2	3	120	1371.77 µW/m2
4	200	426.80 µW/m2	1	170	695.18 µW/m2	4	120	1316.08 µW/m2
0	230	420.91 µW/m2	3	160	672.62 µW/m2	5	120	1268.47 µW/m2
2	220	418.96 µW/m2	2	170	671.58 µW/m2	6	120	1211.38 µW/m2
4	210	411.03 µW/m2	4	160	645.31 µW/m2	7	120	1164.88 µW/m2
1	230	404.75 µW/m2	3	170	642.83 µW/m2	8	120	1115.02 µW/m2
3	220	401.02 µW/m2	5	160	621.97 µW/m2	9	120	1062.38 µW/m2
5	210	396.16 µW/m2	0	190	615.16 µW/m2	10	120	1012.23 µW/m2
6	200	392.85 µW/m2	6	160	593.98 µW/m2	11	120	968.90 µW/m2
2	230	391.01 µW/m2	1	190	591.54 µW/m2	12	120	921.05 µW/m2
4	220	384.74 µW/m2	5	90	581.91 µW/m2	7	140	859.81 µW/m2
0	150	381.66 µW/m2	2	190	571.46 µW/m2	11	130	835.82 µW/m2
6	210	378.33 µW/m2	7	160	571.18 µW/m2	14	90	824.84 µW/m2
7	200	377.77 µW/m2	6	90	555.72 µW/m2	8	140	823.01 µW/m2
3	230	374.28 µW/m2	0	200	548.88 µW/m2	0	160	822.17 µW/m2
5	220	370.83 µW/m2	3	190	547.00 µW/m2	12	130	794.53 µW/m2
1	150	367.00 µW/m2	8	160	546.73 µW/m2	15	90	791.35 µW/m2
7	210	363.81 µW/m2	5	130	539.01 µW/m2	1	160	790.61 µW/m2
8	200	361.59 µW/m2	7	90	534.38 µW/m2	9	140	784.16 µW/m2
2	150	354.54 µW/m2	4	170	532.56 µW/m2	2	160	763.77 µW/m2
6	220	354.14 µW/m2	1	200	527.81 µW/m2	13	130	758.77 µW/m2
8	210	348.23 µW/m2	4	190	524.79 µW/m2	10	140	747.14 µW/m2
9	200	344.53 µW/m2	6	130	514.75 µW/m2	16	90	747.08 µW/m2
7	220	340.54 µW/m2	5	170	513.30 µW/m2	14	130	721.29 µW/m2
3	150	339.37 µW/m2	8	90	511.51 µW/m2	11	140	715.16 µW/m2
9	210	331.80 µW/m2	2	200	509.89 µW/m2	17	90	708.55 µW/m2
10	200	328.26 µW/m2	9	170	497.85 µW/m2	15	130	692.01 µW/m2
11	190	325.85 µW/m2	7	130	494.99 µW/m2	12	140	679.83 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

De acuerdo a los datos obtenidos de las tablas comparativas de los niveles de densidad de potencia para el sector 1 se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.45, en donde se puede apreciar una gran variación respecto a la densidad de potencia que se presenta en los edificios, la cual supera a los demás tipos de edificaciones, alcanzando casi los 1600 µW/m².

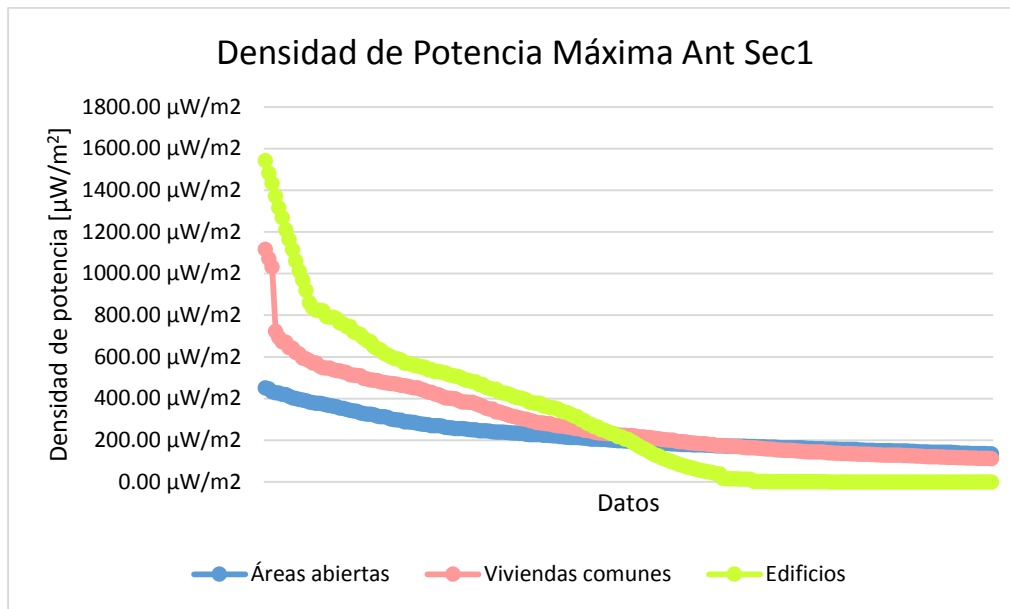


Figura N° 3.45. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 1 en 3G

Fuente: Elaboración propia

En el Sector 2 la diferencia de los niveles de densidad de potencia es mínima en comparación del Sector 1, donde se puede apreciar que a una distancia de 140 metros los edificios llegan con una densidad de potencia de 189.31 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ y viviendas comunes con una densidad de 137.31 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, presentándose en el caso de las áreas abiertas una densidad de 240.70 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ a una distancia de 40 metros de la Estación Movistar Larco. Ver Tabla N° 3.22.

Tabla N° 3.22. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 2

SECTOR 2								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
86	40	240.70 µW/m2	89	350	137.31 µW/m2	87	140	189.31 µW/m2
85	40	234.68 µW/m2	90	60	137.27 µW/m2	86	140	184.15 µW/m2
84	40	224.63 µW/m2	88	340	135.96 µW/m2	85	140	179.54 µW/m2
83	40	218.51 µW/m2	88	350	135.43 µW/m2	84	140	171.86 µW/m2
82	40	211.09 µW/m2	89	360	134.62 µW/m2	83	140	167.17 µW/m2
81	40	206.76 µW/m2	87	340	132.55 µW/m2	68	200	163.02 µW/m2
80	40	199.75 µW/m2	87	350	132.04 µW/m2	77	210	161.72 µW/m2
79	40	192.96 µW/m2	87	360	129.45 µW/m2	82	140	161.50 µW/m2
78	40	184.28 µW/m2	86	360	125.93 µW/m2	81	140	158.19 µW/m2
77	40	176.80 µW/m2	85	360	122.78 µW/m2	76	210	155.87 µW/m2
76	40	170.40 µW/m2	84	300	120.11 µW/m2	67	200	154.61 µW/m2
75	40	164.24 µW/m2	84	360	117.52 µW/m2	80	140	152.82 µW/m2
74	40	158.66 µW/m2	83	300	116.83 µW/m2	79	140	147.63 µW/m2
73	40	150.83 µW/m2	83	360	114.32 µW/m2	78	140	140.98 µW/m2
72	40	144.70 µW/m2	90	360	113.86 µW/m2	75	200	139.46 µW/m2
71	40	138.83 µW/m2	90	350	113.75 µW/m2	71	210	126.98 µW/m2
70	40	133.19 µW/m2	90	340	113.45 µW/m2	70	210	121.83 µW/m2
69	40	128.97 µW/m2	82	300	112.87 µW/m2	83	130	118.27 µW/m2
68	40	121.47 µW/m2	90	320	112.16 µW/m2	69	210	117.96 µW/m2
67	40	115.21 µW/m2	81	290	109.88 µW/m2	71	200	117.88 µW/m2
66	40	109.52 µW/m2	89	370	109.68 µW/m2	82	130	114.25 µW/m2
65	40	104.59 µW/m2	90	410	109.66 µW/m2	70	200	113.09 µW/m2
64	40	99.65 µW/m2	90	310	109.41 µW/m2	81	130	111.91 µW/m2
63	40	95.38 µW/m2	89	340	109.34 µW/m2	69	200	109.51 µW/m2
62	40	90.05 µW/m2	77	230	109.26 µW/m2	80	130	108.11 µW/m2
61	40	85.01 µW/m2	89	390	109.11 µW/m2	79	130	104.44 µW/m2
60	40	81.00 µW/m2	89	330	108.84 µW/m2	78	130	99.74 µW/m2
90	430	76.69 µW/m2	88	360	108.24 µW/m2	77	130	95.69 µW/m2
90	400	76.02 µW/m2	88	370	108.17 µW/m2	76	130	92.23 µW/m2
90	390	75.59 µW/m2	89	320	108.11 µW/m2	75	130	88.89 µW/m2
89	430	73.91 µW/m2	88	380	107.96 µW/m2	74	130	85.88 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Con los datos obtenidos se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.46, donde se puede apreciar una ligera variación de los niveles de densidad de potencia en los cuales a partir de los 100 µW/m² se empieza a notar la diferencia entre estos tres tipos de edificaciones clasificados según la altura.

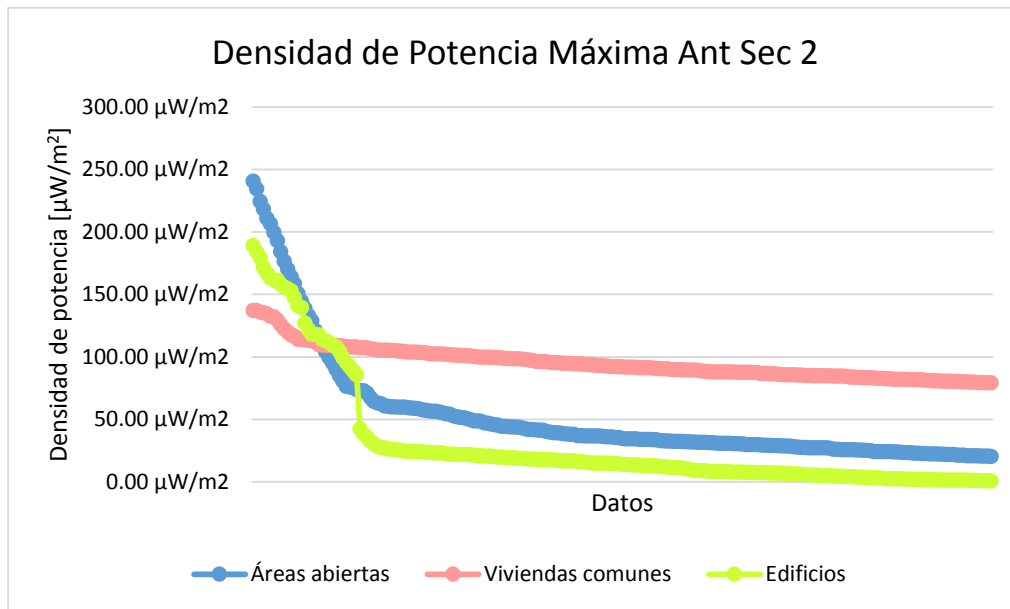


Figura N° 3.46. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 2 en 3G

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 3.23 muestra un extracto de los radiales con mayor densidad de potencia para el Sector 3, donde se observa valores pequeños en comparación con el sector 1 y 2, predominando siempre los edificios con mayor densidad de potencia.

Sim embargo, si comparamos los valores máximos obtenidos para 3G en los edificios con los niveles máximos de radiación alcanzados en los edificios de 2G, se puede apreciar una notoria diferencia que demuestra que la radiación captada por los edificios en la tecnología de 3G es mayor.

Tabla N° 3.23. Extracto Radiales con mayor Densidad de Potencia en 3G – Sector 3

SECTOR 3								
Áreas abiertas			Viviendas comunes			Edificios		
RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)	RADIAL	d(metros)	ØR (Densidad potencia)
12	190	2.75 µW/m2	12	170	3.84 µW/m2	12	120	8.19 µW/m2
17	190	2.70 µW/m2	5	160	3.77 µW/m2	11	120	7.93 µW/m2
18	190	2.69 µW/m2	17	170	3.76 µW/m2	17	90	7.91 µW/m2
17	180	2.67 µW/m2	12	90	3.76 µW/m2	18	90	7.90 µW/m2
11	190	2.67 µW/m2	18	170	3.75 µW/m2	9	120	7.89 µW/m2
18	180	2.66 µW/m2	8	160	3.74 µW/m2	16	90	7.70 µW/m2
12	200	2.66 µW/m2	11	170	3.72 µW/m2	5	120	7.70 µW/m2
13	190	2.63 µW/m2	9	170	3.70 µW/m2	14	90	7.68 µW/m2
16	190	2.62 µW/m2	7	160	3.67 µW/m2	10	120	7.68 µW/m2
14	190	2.62 µW/m2	13	170	3.67 µW/m2	19	90	7.64 µW/m2
19	190	2.61 µW/m2	16	170	3.66 µW/m2	8	120	7.63 µW/m2
17	200	2.60 µW/m2	14	170	3.65 µW/m2	15	90	7.59 µW/m2
18	200	2.60 µW/m2	11	90	3.64 µW/m2	20	90	7.54 µW/m2
15	190	2.59 µW/m2	19	170	3.63 µW/m2	21	90	7.51 µW/m2
19	180	2.58 µW/m2	6	160	3.63 µW/m2	7	120	7.49 µW/m2
11	200	2.57 µW/m2	9	90	3.62 µW/m2	6	120	7.40 µW/m2
20	190	2.57 µW/m2	4	160	3.61 µW/m2	4	120	7.37 µW/m2
9	200	2.56 µW/m2	15	170	3.61 µW/m2	3	120	7.30 µW/m2
21	190	2.56 µW/m2	10	170	3.60 µW/m2	22	90	7.28 µW/m2
12	210	2.56 µW/m2	13	90	3.59 µW/m2	0	120	7.07 µW/m2
20	180	2.54 µW/m2	20	170	3.58 µW/m2	1	120	7.07 µW/m2
13	200	2.54 µW/m2	3	160	3.58 µW/m2	12	130	7.06 µW/m2
21	180	2.53 µW/m2	12	180	3.57 µW/m2	23	90	7.04 µW/m2
16	200	2.53 µW/m2	21	170	3.57 µW/m2	2	120	6.97 µW/m2
14	200	2.52 µW/m2	5	90	3.53 µW/m2	24	90	6.91 µW/m2
19	200	2.51 µW/m2	10	90	3.52 µW/m2	11	130	6.84 µW/m2
17	210	2.51 µW/m2	8	90	3.50 µW/m2	25	90	6.77 µW/m2
18	210	2.50 µW/m2	7	90	3.43 µW/m2	26	90	6.75 µW/m2
15	200	2.50 µW/m2	3	170	3.42 µW/m2	13	130	6.75 µW/m2
10	200	2.49 µW/m2	13	180	3.41 µW/m2	14	130	6.72 µW/m2
22	190	2.48 µW/m2	16	180	3.40 µW/m2	15	130	6.64 µW/m2

Fuente: Hoja de Procesamiento de información

Con los datos mencionados anteriormente se elaboró la curva de tendencia mostrada en la Figura N° 3.47, en donde se puede apreciar una variación de los niveles de densidad de potencia en los cuales los edificios siguen superando tanto a las viviendas comunes y áreas abiertas.

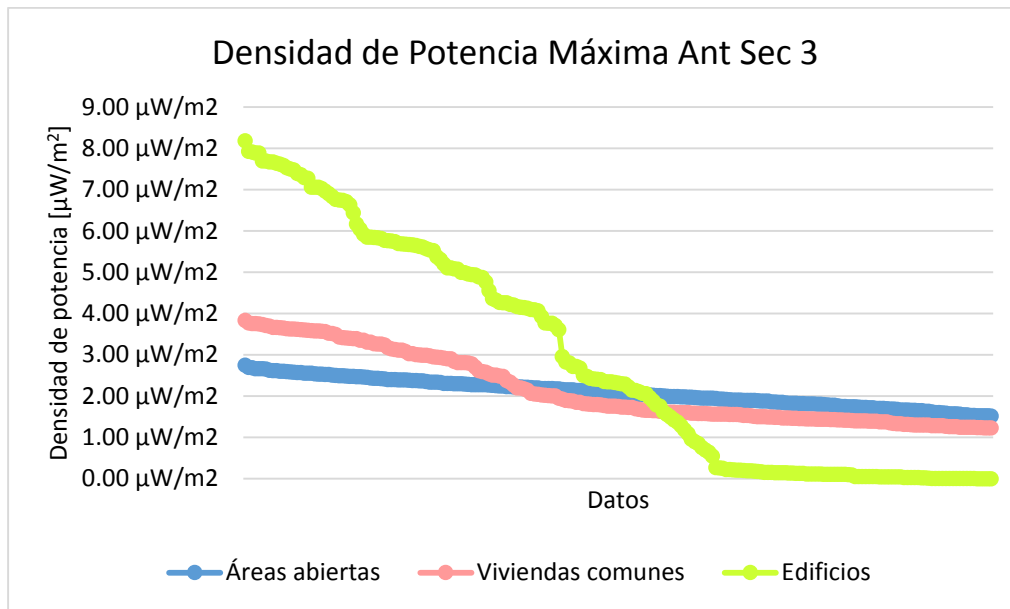


Figura N° 3.47. Curva de densidad de potencia máxima para el Sector 3 en 3G

Fuente: Elaboración propia