



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA

AMBIENTAL

TESIS

RELACIÓN ENTRE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

EMITIDA POR EL TELÉFONO MÓVIL Y SU COBERTURA

DEBIDO A LA PRESENCIA DE ANTENAS Y SUS EFECTOS

EN LA SALUD

PRESENTADO POR

Bach. James Rolando Arredondo Mamani

ASESOR

Dr. Ivan Delgado Huayta

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	<i>vii</i>
ABSTRACT	<i>viii</i>
INTRODUCCIÓN	<i>ix</i>
CAPÍTULO I	<i>1</i>
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	<i>1</i>
1.1. Descripción del Problema	<i>1</i>
1.2. Definición del Problema	<i>2</i>
1.2.1. Problema General	<i>2</i>
1.2.2. Problemas Específicos	<i>2</i>
1.3. Objetivo de la investigación	<i>3</i>
1.3.1. Objetivo general	<i>3</i>
1.3.2. Objetivo específico	<i>3</i>
1.4. Justificación y limitaciones de la investigación	<i>3</i>
1.4.2. Justificación de la investigación.....	<i>3</i>
1.4.3. Límites de la investigación.....	<i>4</i>
1.5. Variables	<i>4</i>
1.4. 1.6. Hipótesis de la investigación	<i>4</i>
1.6.1. Hipótesis General	<i>4</i>
1.6.2. Hipótesis Específicas	<i>5</i>
CAPÍTULO II	<i>6</i>
MARCO TEÓRICO	<i>6</i>
2.1. Antecedentes del estudio	<i>6</i>
2.2. Bases Teóricas	<i>10</i>
2.2.1. Ecuaciones de Maxwell	<i>10</i>
2.2.2. Ondas Electromagnéticas.....	<i>13</i>
2.2.3. Energía trasportada por ondas electromagnéticas	<i>19</i>
2.2.4. Absorción de la radiación electromagnética	<i>20</i>

2.2.5. Antenas	21
2.2.6. Teléfono celular.....	34
2.2.7. Torres de Celular	37
2.2.8. Comunicación entre torres y celulares.....	38
2.2.9. Frecuencia y asignación de banda.....	42
2.2.10. Potencia de radiación y tasa de absorción	42
2.2.11. Medidor de Radiaciones no Ionizantes.....	44
2.2.11. Normas y estándares sobre los límites de RNI.....	45
2.3. Marco Conceptual.....	49
2.3.1. Carga o Carga Eléctrica	49
2.3.2. Intensidad de Campo eléctrico	49
2.3.3. Intensidad de Campo magnético	49
2.3.5. Radiación Ionizante	49
2.3.6. Radiación No ionizante.....	50
2.3.7. Tasa de absorción específica.....	50
2.3.8. Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)	51
2.3.9. Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)	51
2.3.10. Ministerio del Ambiente (MINAM).....	52
2.3.11. Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL).....	52
2.3.12. Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC).....	53
2.3.13. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL)	53
<i>CAPÍTULO III</i>	55
<i>MÉTODO</i>.....	55
3.1. Tipo de investigación.....	55
3.2. Diseño de investigación	56
3.3. Población y muestra	58
3.3.1. Ubicación	59

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
3.4.1. Procedimiento y protocolo para mediciones de RNI.....	61
3.4.2. Medidor de RNI.....	62
3.4.3. Mediciones de las RNI y Trabajo de Campo	63
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	64
<i>CAPÍTULO IV.....</i>	68
<i>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i>	68
4.1. Presentación de Resultados.....	68
4.2. Contratación de Hipótesis	72
4.3. Discusión de Resultados	73
<i>CAPÍTULO V</i>	75
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones	76
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Asignación a los operadores de bandas de 800, 900 y 1900 MHz	42
Tabla 2. Límites para exposición ocupacional	46
Tabla 3. Límites para exposición poblacional.....	46
Tabla 4. Niveles de referencia para exposición poblacional en áreas de uso publico	47
Tabla 5. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para RNI.....	48
Tabla 6. Ubicación y coordenadas de la muestra	59
Tabla 7. Potencias de radiación en el punto 1– Hospital Adolfo Guevara Velasco	65
Tabla 8. Potencias de radiación en el punto 2 – Av. Collasuyo	66
Tabla 9. Potencias de radiación en el punto 3 – Q’enqo.....	66
Tabla 10. Promedio de los puntos 1, 2 y 3	68
Tabla 11. Tasa de crecimiento al hacer la búsqueda	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Partes de una onda	14
Figura 2. Generación de una Onda Electromagnética	16
Figura 3. Propagación de una Onda Electromagnética.....	17
Figura 4. Espectro Electromagnético.....	19
Figura 5. Absorción de una onda electromagnética.....	21
Figura 6. Antena irradiando ondas.....	23
Figura 7. Configuración de la antena de cable	24
Figura 8. Configuración de antenas de apertura	25
Figura 9. Antenas microstrip rectangulares y circulares (parche).....	26
Figura 10. Configuración típicas de alambre, apertura y microstrip	27
Figura 11. Configuraciones típicas del reflector	28
Figura 12. Configuraciones típicas de antenas de lente.....	30
Figura 13. Formas de radiación	31
Figura 14. Rotación de una OEM plana y su elipse de polarización.....	34
Figura 15. Frecuencia de telecomunicaciones.....	36
Figura 16. Oposición de la población a la instalación de antenas	37
Figura 17. Torre de antena de celular sobre una casa	38

Figura 18. Diagrama de Torre	39
Figura 19. Niveles medidos de las antenas montadas en mástil como un porcentaje de un nivel permitido de $2W/m^2$	40
Figura 20. Esquema simplificado de un sistema de telefonía celular.....	41
Figura 21. Diagrama del circuito de la exposición de una estación base móvil, donde ilustra el concepto de SAR de cuerpo total producido.	43
Figura 22. Diagrama de exposición para un celular donde se ilustra el concepto de SAR localizado.....	44
Figura 23. Mediciones de RNI hecho por el MTC.....	45
Figura 24. Clasificación de las RNI y RI.....	50
Figura 25. Teléfono celular ZTE Blade A465.....	58
Figura 26. Ubicación del punto 3, Q'engo.....	60
Figura 27. Protocolo de medición de radiaciones.....	61
Figura 28. Medidor de Radiaciones NARDA.....	62
Figura 29. Medición del punto 3, Q'engo – Cusco.....	64
Figura 30. Interfaz de trabajo del Software de Narda.....	65
Figura 31. Características de la variación de potencia en el punto 1.....	69
Figura 32. Características de la variación de potencia en el punto 2.....	69
Figura 33. Características de la variación de potencia en el punto 3.....	70
Figura 34. Características de la variación de potencia de los puntos 1, 2 y 3.....	70

RESUMEN

El presente trabajo de Tesis empezamos analizando cómo se genera y comporta las Ondas Electromagnéticas (OEM) conocido también como Radiaciones No Ionizantes (RNI), luego se pasamos hacer un breve repaso de como funcionan los elementos de comunicaciones móviles haciendo una pequeña descripción de cada uno de ellos en especial las antenas de comunicación y ver la potencia que emiten estos, para medir dichas potencias usamos un equipo de que mide potencias de radiación de diferentes frecuencias de la marca Narda que esta previamente configura para hacer las mediciones según los estándares nacionales que están basados en estándares internacionales, para este propósito se realizaron las medidas en 3 puntos de la ciudad de cusco, esto según la cobertura por ejemplo el último punto que se escogió fue Q'enco donde existe una cobertura, después de realizado las medidas se procesan los datos obtenidos usando normalización de estos datos y tasa de crecimiento, demostrando así la primera relación a mas cobertura menor potencia de conexión y viceversa, para demostrar la segunda parte del tema de investigación se comparan estos resultados con las tabla de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y con los Límites Máximos Permitidos según las Leyes Peruanas e internacionales entre ellos uno de los últimas actualizaciones son las dadas por el ministerio del Ambiente, como resultado de se ve que la potencia de radiación no supera el 1% de las normas actuales, con lo que podemos concluir que la radiación de los teléfonos móviles no traen consecuencia alguno en la salud.

Palabras claves: Ondas Electromagnéticas, Antenas, Cobertura, Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

ABSTRACT

This Thesis work we start by analyzing how it is generated and Electromagnetic Waves (OEM) also known as Non-Ionizing Radiation (RNI), then we spend a brief review of how you operate the elements of mobile communications by making a short description of each of them especially the communication antennas and see the power that emit these, to measure these powers we use a device that measures radiation powers of different frequencies of the Narda brand that is previously configured to make the measurements according to national standards that are based on international standards, for this purpose the measures in 3 points of the city of Cusco, this according to the coverage for example the last point that was chosen was Q'enqo where there is a coverage, after the measurements are made, the data obtained is processed using normalization of this data and growth rate, thus demonstrating the first relation to more coverage less connection power and vice versa, To demonstrate the second part of the research topic, these results are compared with the table of Environmental Quality Standards (ECA) and with the Maximum Permitted Limits according to Peruvian and international laws, among them one of the last updates are those given by the Ministry of the Environment. Environment, as a result of which it is seen that the radiation power does not exceed 1% of the current standards, with which we can conclude that the radiation of mobile phones does not bring any consequence in health.

Keywords: Electromagnetic Waves, Antennas, Coverage, Environmental Quality Standards (ECA)

INTRODUCCIÓN

Hoy nos encontramos con nuevas tecnologías casi en todas las áreas como la ingeniería, la medicina, las ciencias, y esto se debe en algunos casos al enfrentarse a nuevas necesidades de los seres humanos lo cual ha hecho que se desarrolle en diferentes aspectos y se puede ver un avance de la ciencia en todo el mundo siguen apareciendo nuevas tecnologías por ejemplo en el ámbito de las telecomunicaciones desde la aparición de los primeros teléfonos móviles, el cual era demasiado caro por lo cual no era accesible por la mayoría, pero con el avance del mismo estos teléfonos fueron reduciendo de tamaño y de precio y mejorando sus formas de comunicaciones hasta ahora que contamos con Smartphone (teléfonos inteligentes) que son accesibles por la mayoría; con respecto al tipo de comunicación este también avanzó al iniciar las comunicaciones inalámbricas estas eran lentas pero ahora en el Perú se está implementando la red 4G que tiene más velocidad para navegar por internet, pero no todos los celulares cuentan con esta cobertura por ello muchos usuarios están cambiando sus teléfonos por estos, esto se ha extendido por todo el Perú desde las zonas urbanas hasta las zonas rurales, esta extensión ha hecho que las operadoras de telefonía celular expandan su cobertura instalando más antenas para ampliar su cobertura lo cual ha traído conflictos sociales ya que un buen grupo de personas se han opuesto a la instalación de estas mencionando que están siendo perjudicados y que causan daño a su salud, pero existe otro grupo que menciona que no causarían daño alguno.

Con respecto a la protección de la Salud existen muchas instituciones públicas y privadas que velan por la salud y con la ayuda de la comunidad científica se ha hecho elaborado estándares de protección con respecto a casi toda la calidad

de agua, la calidad de aire, la calidad de suelo, entre otros; también existen normas que limitan la potencia de comunicación de los teléfonos móviles en estas normas están las instituciones del estado como el Ministerio de Ambiente (MINAM), el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTC), Universidades como la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) mediante el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL). Por otra parte existen también organismos a nivel internacional que como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (INCRNI) que es una comisión internacional especializada en protección de radiación no ionizante, este último es el referente para la elaboración de normas en el mundo y el MINAM por ejemplo toma como referencia la INCRNI para elaborar las normas.

También existen artículos de investigación en revistas indexadas como también tesis de grado, estos en su mayoría apoyan la idea que las RNI emitidos por las antenas de teléfonos celulares no causan daño a la salud.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1. Descripción del Problema

Hoy en día siguen existiendo grandes conflictos y/o desacuerdos con respecto a la instalación de antenas, en especial en la instalación de antenas de telefonía móvil o comúnmente llamados celular, por un lado existen grupos de personas incluso comunidades enteras que se oponen a la instalación de las antenas ya que aseguran que estarían sufriendo daño en su salud y la de sus hijos, por otro lado están las que defienden la instalación de las antenas las cuales mencionan que no causan daño alguno y los niveles de radiación emitidos por dichas antenas son de muy baja potencia el cual es insuficiente para afectar nuestra salud, estos puntos de vista ha hecho que existan conflictos sociales cada uno defendiendo lo que cree. Sin embargo el problema radica en el desconocimiento de la relación que existen entre los niveles de radiación que emite el celular cuando existen antenas y cuando no los hay, por otro lado así como existen normas medioambientales que protegen nuestra salud, como las relativas a aditivos alimentarios, a las concentraciones de productos químicos en el agua, los niveles de contaminación del aire entre otros; de forma similar, existen normas que previenen la exposición excesiva a los campos

electromagnéticos producidos por diferentes equipos tecnológicos como las antenas de las emisoras de radio y televisión y como se mencionó al inicio el de los teléfonos móviles y las antenas con que estos funcionan; por ello se hace necesario un estudio para medir estos niveles de radiación en relación a su cobertura debido a la presencia de antenas y comparar estos resultados con las normas antes mencionadas.

1.2. Definición del Problema

Dado el aumento de los teléfonos móviles y Smartphone en todo el mundo, en nuestro país y porque no en nuestra región y a sus alrededores (zonas rurales), las personas hacen cada vez más usos de estos aparatos y por ende el incremento de antenas en diferentes lugares de nuestra región, se plantea los siguientes problemas:

1.2.1. Problema General

¿Qué relación existe entre la radiación emitida por el teléfono móvil y la cobertura debido a la cantidad de antenas que tiene a su alrededor y que efecto tiene sobre la salud humana?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuándo emiten más potencia de radiación los teléfonos móviles?

¿Qué niveles de radiación están permitidas por las organizaciones nacionales e internacionales para la salud?

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Relacionar la potencia emitida por los teléfonos móviles y la cobertura según la cantidad de antenas que usa para conectarse y comparar dichos resultados con los límites máximos permitidos.

1.3.2. Objetivo específico

Analizar el comportamiento y el nivel de potencia que emiten las antenas de telefonía móvil.

Comparar los niveles de potencia de ondas electromagnéticas que con los estándares nacionales e internacionales.

1.4. Justificación y limitaciones de la investigación

1.4.2. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación es necesario ya que presenta efectos sociales debido a que existe una controversia y hasta oposición de los pobladores de que se instalen más antenas en diferentes lugares de nuestra región ya que estos estarían causando daño a su salud y por otra parte las empresas de telefonía móvil y el MTC mencionan que no hacen daño alguno sino todo lo contrario a mas antenas sus teléfonos móviles usaran menos potencia de radiación.

1.4.3. Límites de la investigación

Debido a la gran cantidad de teléfonos celulares de diferentes tipos y tecnologías incluso de diferentes operadores por ello en el presente trabajo de investigación se usa un teléfono móvil del operador movistar la cual es sometida a mediciones de potencia en diferentes lugares según su cobertura, buscando lugares donde existe buena cobertura y donde no llega buena cobertura a causa de la falta de antenas, y solo trabajamos en las señales electromagnéticas emitidos por el teléfono móvil que tiene un rango de frecuencia en el cual trabajan, ya que existen otro tipo ondas electromagnéticas que trabajan en otra rango de frecuencias como las ondas de radio, televisión, wifi entre otros.

1.5. Variables

Var. Independiente: Radiación del teléfono móvil.

Var. Independiente: Cobertura debido a la cantidad de antenas.

Var. Dependiente: Relación entre la potencia emitida del teléfono móvil y la cobertura y comparar dichos resultados con los estándares nacionales e internacionales.

1.4.1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis General

Mientras más antenas existan cerca del teléfono móvil esta emite menos potencia de radiación y está no excede los límites máximos permitidos para la salud.

1.6.2. Hipótesis Específicas

A mayor cantidad de antenas móviles la potencia de radiación presenta niveles bajos.

Las radiaciones emitidas por las antenas son radiaciones no ionizantes y la potencia de radiación no supera los límites máximos permitidos para la salud.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Como se mencionó en la introducción hoy día existen muchos estudios con respecto a la contaminación electromagnética debido a las ondas electromagnéticas conocidos también como radiaciones no ionizantes, esto empezó desde la aparición de los primeros aparatos inalámbricos, es decir que no usan cables para hacer una llamada, esto no siempre fue así ya que la primera comunicación que se conoce se remonta al año 1875 donde Alexander Graham Bell quien invento el teléfono realiza la primera comunicación, desde entonces las comunicaciones fueron avanzando pero estas seguían usando cables, hasta la aparición de la radio finales del siglo XIX que se usó para comunicaciones marítimas, hasta la aparición del primer teléfono celular fabricado por Motorola del proyecto DynaTAC 8000X en abril del 1973 quien su directivo hizo la primera llamada, esta tenía dimensiones muy grandes y eran muy caros, con el pasar del tiempo hasta la actualidad contamos con celulares para todos los gustos desde los más básicos hasta los más modernos conocidos incluso como teléfonos inteligentes (Smartphone en inglés); este cambio gradual ha

hecho que la mayor parte de la población cuente con un teléfono celular ya que su uso se ha hecho indispensable.

En el Perú existen 38 millones de líneas de teléfono móvil (OSIPTEL, 2017a) cifra que sigue en aumento ya que este dato está tomado del mes de setiembre de 2017, esta fuente estadística muestra que en todos los departamentos de Perú se cuenta prácticamente con un equipo celular, hecho por el cual los diferentes operadores de telefonía se han expandido a lugares más lejanos incluyendo zonas rurales esta expansión se hizo instalando más torres con antenas en esas áreas, haciendo que las personas se puedan comunicar donde antes no se podía; pero la instalación de dichas torres y antenas ha hecho que algunas personas empiecen a quejarse mencionando que desde que instalaron las antenas sienten malestar, este hecho ha traído problemas y conflictos sociales con respecto a que si estos causan daño o no a la salud, este hecho también se produjo en otros países por eso se hizo hincapié a estudios y trabajos de investigación, entre ellos organismos internacionales como el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE, siglas en inglés) ha elaborado estándares de los límites de potencia de dichas antenas, por ejemplo: “C95.1-2005 - Norma IEEE para niveles de seguridad con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, de 3 kHz a 300 GHz” (IEEE, 2006) dicha norma es una actualización de la norma publicada con el mismo nombre en el año 1999, en estas se muestra los límites máximos permitidos para diferentes situaciones así como la definición de algunos conceptos importantes; otra organización muy importante es el Comité Internacional de Radiación No Ionizante (INIRC, siglas en inglés) publicó en 1999 el artículo titulado: “Las Directrices para limitar la exposición a campos eléctricos,

magnéticos y electromagnéticos que varían con el tiempo (hasta 300 GHz)” (ICNIRP, 1999) donde también se elabora una tabla de los límites máximos permitidos de la radiaciones no ionizantes para diferentes frecuencias; en el Perú también se presentaron algunos trabajos de investigación como la tesis: “Límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes para el sector telecomunicaciones peruano: una aproximación al nexo entre el derecho ambiental y el derecho de las telecomunicaciones” (Alvarez Herrera, 2005). Tesis presentada en la PUCP – Lima, en dicha tesis se hace un análisis de la comunicaciones y sus radiaciones no ionizantes desde el punto de vista legal el cual hace una revisión de las normas peruanas a los límites máximos permitidos (LMP) y contribuye en la propuesta de adoptar valores señalados en tablas de restricciones básicas y niveles de referencia, elaborados por organizaciones internacionales con el fin de prevenir los posibles efecto adversos de tales radiaciones en la salud de los seres humanos; otro artículo científico publicado es en la Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica con su articulo titulado: “Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes de las redes de telecomunicaciones en el Perú” (Cruz, 2009) presentado en el 2009 donde se enumera algunas consecuencias de estar largo tiempo expuestos a las radiaciones no ionizantes; a nivel internacional también se ha tratado de este tema, por ejemplo en la base de datos de Scielo se encuentra el artículo titulado: “Análisis dimensional del riesgo percibido por la exposición del público a radiaciones electromagnéticas emitidas por estaciones base de telefonía móvil” (Gallego Serna, Torres Ososio, & Castañeda Salazar, 2014) donde también menciona las radiaciones de la estaciones base del telefonía móvil; otros artículos como el paper: “Telefonía móvil. ¿Una apuesta con nuestra salud?” (Leal, Abellán,

& Casas, 2005) nos menciona desde cómo funcionan los teléfonos móviles y en que frecuencias y compara dichos frecuencias con otras como por ejemplo, mencionando que los distintos fabricantes de teléfonos móviles se limitan a decir que los terminales que ellos fabrican se ajustan a la legislación vigente y que no hay evidencias que aprecien efectos negativos sobre el uso del celular y resaltan siempre que la tasa de absorción específica (SAR); otro paper de título: “Telefonía móvil: ¿representa algún riesgo para la salud?” (Vargas Marcos & Crespo Del Arco, 2009) en este artículo revisa los resultados de los estudios hasta esa fecha publicados sobre la relación que existe entre la Telefonía Móvil y la salud a fin de facilitar una información actualizada, también muestra los resultados de mediciones de densidades de potencia que se han realizado cerca de las antenas y estas son extremadamente débiles, algo interesante de este artículo hace la comparativa de las antenas de televisión así como las antenas de radiodifusión que trabajan con potencias de hasta 200.000W, cuando la potencia máxima emitida por una antena de telefonía móvil es de 300W; es decir que emiten con una potencia 650 veces más pequeña; otros artículos más específicos como: “El papel de los campos electromagnéticos en los trastornos neurológicos” (Terzi, Ozberk, Deniz, & Kaplan, 2016) mencionan la gran controversia sobre los posibles efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos, y que es difícil probar indiscutiblemente si existen o no riesgos destructivos, y todavía no tenemos mucha evidencia concreta del tiempo y límite de exposición, es mejor mantener la exposición pública muy por debajo de los límites por ello recomienda a las compañías de alta tecnología deberían encontrar alternativas para cumplir con las nuevas regulaciones ambientales.

Estos son algunos de los artículos que menciona el tema de las RNI de las antenas de los teléfonos móviles, no obstante existen puntos que tratar como menciona el último artículo mencionado en el párrafo anterior, como encontrar las alternativas para cumplir las regulaciones ambientales, hacer otros estudios como el mismo comportamiento del celular, el cual trataremos en la presente investigación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ecuaciones de Maxwell

Para comprender las comunicaciones inalámbricas en la actualidad necesitamos hacer un repaso de cómo funcionan estas, ya que con respecto a esto se ha avanzado en gran escala, desde el descubrimiento de las partículas del átomo como el electrón y como este ha revolucionado al avance de la electricidad y posteriormente el magnetismo, luego juntando las dos ramas el electromagnetismo, muchos científicos estudiaron estos fenómenos por separado entre ellos Coulomb, Faraday, etc. Pero James C. Maxwell junto todos estos avances en cuatro ecuaciones que resumen todos los avances hasta su época.

Las cuatro ecuaciones que a continuación se muestran se consideran como base de todos los fenómenos sean estos de naturaleza eléctrica o magnética. Estas ecuaciones, desarrolladas por Maxwell, son tan fundamentales para los fenómenos electromagnéticos como las leyes de Newton lo son para los fenómenos mecánicos (Serway & Jewett, 2009). No obstante, la teoría que desarrolló Maxwell tenía

alcances que él no imaginaba, porque su teoría que desarrollo estaba de acuerdo con la teoría especial de la relatividad, que Einstein demostró en el año 1905, lo cual hace que su teoría cobre mucho interés incluso en nuestro tiempo.

Estas ecuaciones representan las leyes de la electricidad y el magnetismo, lo cual explicaremos estas ecuaciones en párrafos posteriores después de enumerar las ecuaciones. Por simplicidad y mayor comprensión, se presentan las ecuaciones de Maxwell como se aplican al espacio libre, es decir, en ausencia de cualquier material dieléctrico o magnético. (Academia, 2017; Serway & Jewett, 2009)

Las cuatro ecuaciones son:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1) \quad \text{Ley de Gauss}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2) \quad \text{Ley de Gauss del magnetismo}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (3) \quad \text{Ley de Faraday}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\phi_E}{dt} \quad (4) \quad \text{Ley de Ampere – Maxwell}$$

La ecuación 1 es conocido como la ley de Gauss, su enunciado menciona: El flujo eléctrico total a través de una superficie cerrada es igual a la carga neta dentro de dicha superficie dividido por ϵ_0 . Por lo tanto esta primera ecuación o ley relaciona el campo eléctrico con la carga que produce dicho campo eléctrico.

La ecuación 2 es la ley de Gauss del magnetismo y esta enuncia: que el flujo magnético total o neto a través de cualquier superficie cerrada es nulo o igual a cero. En otras palabras, el número de líneas de campo magnético que entra a un volumen

es igual al número que sale de dicho volumen, esto implica que las líneas que producen el campo magnético no pueden comenzar o terminar en cualquier punto. Si lo hicieran, significaría que en dichos puntos existen monopolos magnéticos aislados; el hecho de que monopolos magnéticos aislados no se hayan observado en la naturaleza se considera una confirmación de la ecuación 2 (Academia, 2017; Serway & Jewett, 2009)

La ecuación 3 es la ley de Faraday de la inducción, que dice que se crea un campo eléctrico gracias a un flujo magnético que cambia con el tiempo. Esta ley afirma que la fuerza electromotriz (que puede ser una diferencia de potencial), es equivalente a la relación que existe entre el cambio del flujo magnético con respecto al tiempo a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria. La ley de Faraday tiene muchas aplicaciones una de las consecuencias más conocidas es que la corriente que se induce en una espira conductora con una carga (que puede ser una lámpara) es gracias a la variación del campo magnético (que puede ser un simple imán) que se hace variar en función del tiempo.

Finalmente la ecuación 4 es la ley o ecuación de Ampere-Maxwell, y esta nos señala como se crea un campo magnético debido a una creación de un campo eléctrico que cambia con el tiempo que también podría ser una intensidad de corriente eléctrica (que viene hacer la carga eléctrica en movimiento). Al integrar la línea del campo magnético alrededor de cualquier trayectoria cerrada nos da la suma de μ_0 veces la corriente neta a través de dicha trayectoria y $\epsilon_0\mu_0$ veces la rapidez de cambio del flujo eléctrico a través de cualquier superficie limitada por dicha trayectoria (Academia, 2017; Serway & Jewett, 2009)

Visto lo anterior, es decir las 4 ecuaciones de Maxwell y como estas explican las leyes conocidas de la electricidad y el magnetismo, podemos concluir que las ecuaciones, muestran una carga puntual en reposo crea un campo \vec{E} estático, pero ningún campo \vec{B} ; una carga puntual que se desplaza con velocidad constante crea campos tanto \vec{E} y \vec{B} . Las ecuaciones de Maxwell también permiten demostrar que, para que una carga puntual genere ondas electromagnéticas, es necesario que la carga acelere (Sears, Freedman, Young, & Zemansky, 2004). De hecho es que toda carga eléctrica acelerada, es decir que cambia de velocidad, irradia energía electromagnética.

2.2.2. Ondas Electromagnéticas

Antes de proceder a la definición de una onda electromagnética vamos a definir que es una onda en sí, según Alan Cromer (Cromer, 1996) una onda es una perturbación en un medio que se propaga a través del mismo a una velocidad constante y característica del medio. Las ondas se producen en una cuerda, lo mismo que las ondas sonoras, consisten en vibraciones mecánicas de los elementos de un medio material. Por consiguiente las ondas mecánicas se pueden entender perfectamente según las leyes de mecánica que rigen el movimiento de los objetos materiales (Cromer, 1996). Estas ondas se pueden representar o esbozar como se muestra en la Figura 1, donde se puede apreciar algunas de sus partes.

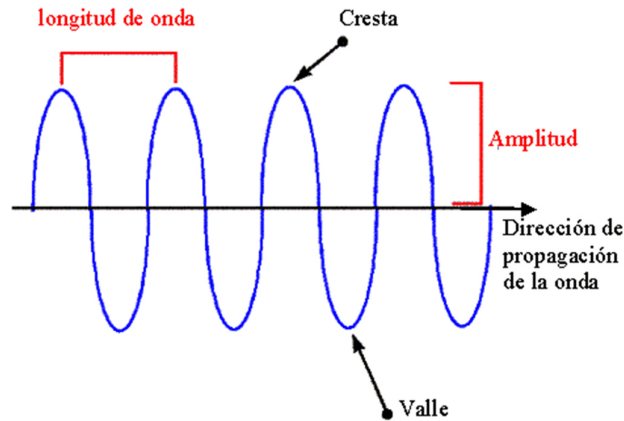


Figura 1. Partes de una onda

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/ondas-electromagneticas.htm>

Las partes principales que tiene la onda se describen a continuación:

Longitud de Onda: Es la distancia que existe entre las crestas continuas o también entre valles continuos.

Amplitud: Es la máxima distancia o máxima perturbación que existe en una onda. También se puede calcular matemáticamente sabiendo la distancia que existe (medido verticalmente) entre una cresta y un valle continuos y a esta se saca la mitad y tendríamos el valor de la amplitud.

Frecuencia: Se define como la cantidad de veces que se repite una onda cada cierto tiempo. En el sistema internacional la unidad de medida es el Hertz (Hz); Un Hertz sería la cantidad de veces que se repite una onda en cada segundo.

Periodo: Es lo contrario (o el inverso multiplicativo) de la frecuencia. Su unidad en el Sistema Internacional es el segundo (s).

Velocidad: Es la velocidad con que se propaga (por donde viaje) la onda, esto dependerá del lugar o medio en la que se propague, si la onda se propaga en el vacío tendrá una velocidad igual a la velocidad de la luz que es un valor conocido de 3×10^8 m/s. Si se propaga por el aire este valor cambiara, pero es aproximadamente igual a la velocidad con se propaga en el vacío.

No obstante las ondas que nos interesan son las ondas electromagnéticas (OEM) conocidas también como radiaciones electromagnéticas, estas ondas a diferencia de las ondas antes mencionadas tienen dos componentes tal como se menciona tienen una naturaleza eléctrica y magnética a la vez, es decir estas son generadas por partículas eléctricas y magnéticas que se mueven simultáneamente de manera oscilatoria. Estas partículas al oscilar generan a su alrededor un campo, dando como campo resultante es una mezcla de un campo eléctrico y magnético (Serway & Jewett, 2009).

Una OEM se genera cuando una carga eléctrica acelera comportándose como una corriente eléctrica variable. Entonces, el campo eléctrico de las cargas con aceleración comienza a perturbarse, distinguiéndose del campo eléctrico de una gran carga en reposo o velocidad constante. La carga acelerada genera un campo magnético variable (\vec{B}_1), pero también todo campo variable genera un campo eléctrico variable (\vec{E}_1). Según la hipótesis de Maxwell, un campo eléctrico variable (\vec{E}_1) genera un campo magnético variable (\vec{B}_2), ahora este campo magnético variable genera otro campo eléctrico variable (\vec{E}_2) y así sucesivamente (Lumbreras, 2016).

Por lo tanto estas radiaciones electromagnéticas generan unas ondas que se propagan por el aire hasta por el vacío (como ocurre al enviar señales al espacio). Una partícula cargada eléctricamente (o magnéticamente) se mueve de arriba abajo, es decir oscila generando así las ondas, tal como se muestra en la figura 2:

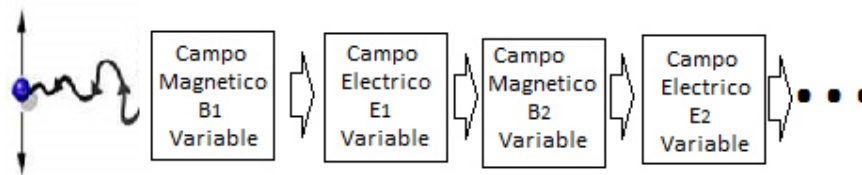


Figura 2. Generación de una Onda Electromagnética

Fuente: Elaboración propia

Esta partícula al oscilar crea una perturbación alrededor de su oscilación, que lo llamaremos onda. La onda generada es dependiente de la velocidad con la se mueva la partícula, así también de la amplitud de oscilación y distancia del inicio al fin del recorrido. Al cambiar los valores antes descritos también cambiaran las características de la onda. En nuestro caso la partícula analizada tiene dos componentes uno de naturaleza eléctrica y otra de naturaleza magnética, esto nos dará por lo tanto una radiación electromagnética, en conjunto con su respectiva onda electromagnética.

Con las partes descritas anteriormente nuestra onda estaría viajando por el aire a velocidad de la luz. No obstante estas ondas electromagnéticas como describimos anteriormente (Figura 2) no se generan solo por una partícula, sino que se necesita dos partículas de diferente naturaleza, una de naturaleza eléctrica y la otra de naturaleza magnética. Otra característica entre estas partículas es que su movimiento es perpendicular entre los dos tipos y viajan perpendicularmente. A continuación mostramos las ondas electromagnéticas. Estas se mueven en el eje Z y la otra en el eje Y:

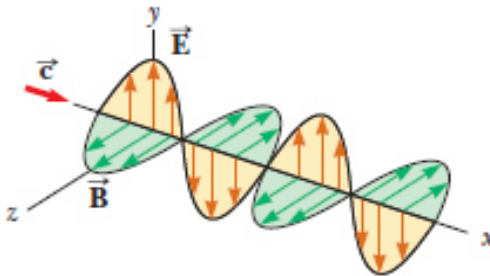


Figura 3. Propagación de una Onda Electromagnética

Fuente: Serway & Jewett, 2009

Estas ondas son una de las formas de transportar energía por el vacío y también por el aire. Estas no tienen límites y/o barreras, es decir pueden traspasar cuerpos y materias, por ejemplo cuando estamos en nuestro cuarto y recibimos una llamada estas ondas traspasan todas las paredes del lugar donde estamos ubicados. Para entender cómo se propaga estos veamos una de las grandes aplicaciones que consiste en que estas ondas que al emitir una señal desde un punto llamado receptor (que viene a ser el lugar donde se genera la onda) para luego transmitir la señal por el aire el vacío y luego recibirla en otro punto llamado receptor (que viene hacer

el lugar donde llegara la onda). Esta onda puede aparte de transportar energía también contener información, pero primero esta información se debe convertir en una señal en forma de onda electromagnética, y una vez recibida por el receptor, será decodificada y se recibirá la misma información que se envió. Entonces podremos enviar información por el aire incluso por el vacío sin ser necesario cables u otro tipo de elemento físico. (Areatecnologia, 2016; “El pulso electromagnético PEM: QUE SON LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS,” n.d.)

Las ondas electromagnéticas (OEM) en la actualidad están siendo usadas en la radio, la televisión, internet, telefonía móvil, entre otros. Entonces por el aire viajan muchas ondas, por lo que se deben diferenciar y la manera de diferenciarlos es por su Frecuencia.

Para entender este fenómeno pensemos en una cuerda a la cual movemos, si el movimiento es muy lento creamos ondas muy anchas la cual tiene una mayor longitud de onda no obstante si el movimiento es muy rápido estas ondas serán más estrechas la cual tiene poca longitud de onda. Entonces podemos concluir que si la frecuencia crece la longitud de onda se hace estrecha o pequeña y si la frecuencia se hace pequeña la longitud de onda crece o se hace grande.

Entonces en una OEM los datos más importantes son la frecuencia (f) y la longitud de onda (λ) y según estos datos se han creado diferentes tipos de tablas para clasificar dichas ondas, veremos una que es la más general que se encuentra en la mayoría de la bibliografía disponible, que ordena de forma creciente las longitudes de onda o también se ordena por su frecuencia pero de forma decreciente a este orden que se obtiene de le llama “Espectro Electromagnético”. Esta tabla nos

dará una idea más clara en rango de frecuencia se encuentra determinado tipo de radiación. En la figura 4, se muestra dicha tabla.

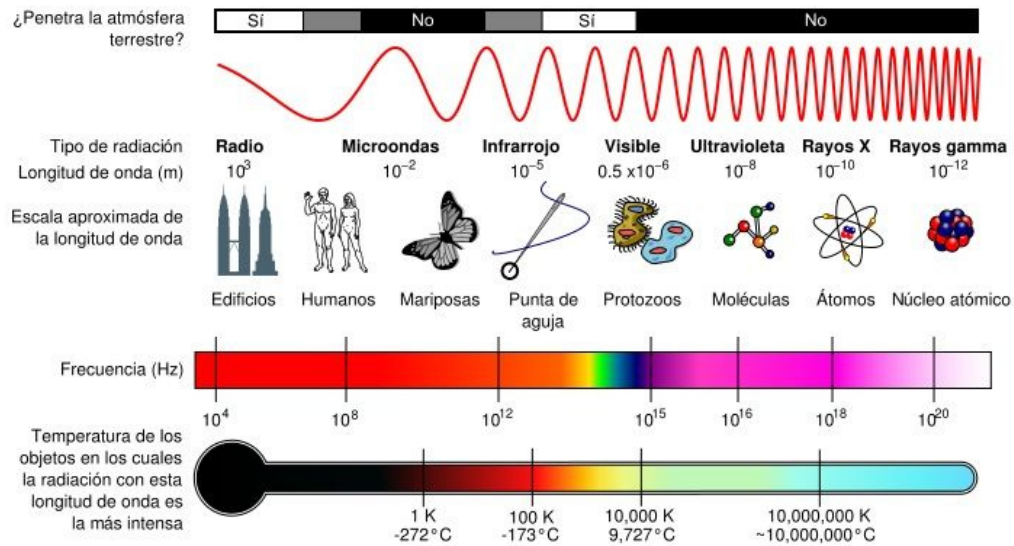


Figura 4. Espectro Electromagnético

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/ondas-electromagneticas.htm>

2.2.3. Energía transportada por ondas electromagnéticas

Entonces ya conocemos como se genera una OEM y conocemos sus partes principales, así como su clasificación según su rango de frecuencia, no obstante una parte importante es la energía que estas tienen, ya que será importante saber esto y medir dicha energía para ver hasta que limite puede soportar el cuerpo humano sin que cause daño a la salud.

Primero es necesario ver un preámbulo para esto empezaremos con la rapidez de flujo de la energía en una onda electromagnética esta se puede representar mediante un vector \vec{S} , llamado **vector de Poynting**, que se define por la expresión:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (5)$$

El modulo del vector de Poynting representa la velocidad con el que fluye la energía a través de una superficie unitaria que forma noventa grados con la dirección de propagación de la onda. Por lo tanto, el módulo de \vec{S} , representa *energía por unidad de área*. El vector de Poynting tiene la misma dirección que la de propagación de la onda. Las unidades en el Sistema Internacional para \vec{S} son $J/s.m^2 = W/m^2$ (Serway & Jewett, 2009).

2.2.4. Absorción de la radiación electromagnética

La absorción de energía de una onda electromagnética es un problema complicado que requiere extensos cálculos matemáticos y el uso de la mecánica cuántica, pero las ideas fundamentales pueden comprenderse fácilmente, cuando una onda electromagnética incide sobre el átomo tanto el campo eléctrico de onda como el magnético actúan sobre los electrones del átomo (Alonso & Finn, 1999). Entonces podemos decir que un átomo o una molécula absorben radiación electromagnética preferentemente cuando la frecuencia de la OEM coincide con una de las frecuencias de su espectro de emisión (Alonso & Finn, 1999).

Entre la fuente y el receptor se coloca distintos cuerpos dieléctricos, observándose que la intensidad de las ondas electromagnéticas disminuye. De esta manera se deduce que el dieléctrico absorbe parte de la energía electromagnética (Figura 5).

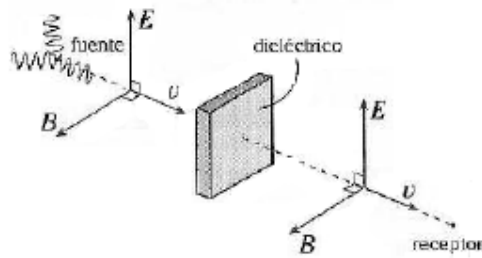


Figura 5. Absorción de una onda electromagnética

Fuente: Lumbreras, 2016

Al pasar la onda electromagnética por el dieléctrico, el campo eléctrico excitará la nube electrónica, absorbiendo esta parte de la energía de la onda electromagnética. El grado de absorción depende de la sustancia que se coloca entre la fuente y el receptor (Lumbreras, 2016).

2.2.5. Antenas

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) capaz de emitir o recibir ondas electromagnéticas de radio hacia el espacio libre. Esta es construido por un conjunto de dispositivos eléctricos que le permite radiar (transmitir) ondas electromagnéticas cuando se le aplica un voltaje alterno, es decir transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

El tamaño de las antenas se relaciona con dos parámetros antes explicados estas son: la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser en general, un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda. Por eso, a medida que se van utilizando frecuencias mayores las antenas disminuyen

su tamaño. Asimismo dependiendo de su forma y orientación, pueden captar diferentes frecuencias, así como niveles de intensidad.

La antena, al ser alimentado con energía de alta frecuencia, radia esta energía al espacio en forma de ondas electromagnéticas (antena de emisión) o que situado en un campo de ondas electromagnéticas, se hace sed de energía de alta frecuencia (antena de recepción). (PIAT & BRAULT, 1998)

En los casos prácticos, es más conveniente utilizar radiadores cuyas dimensiones sean comparables a una longitud de onda; en este caso la distribución de corriente no uniforme en toda la longitud y esto debe tomarse en consideración. Aunque el diseño de antenas es un arte en sí mismo, se pueden ilustrar los principios generales (Wangsness, 2006).

Tenemos varios tipos de antenas. Estas por ejemplo de pueden clasificar por ejemplo por la potencia radiada y directividad de la antena, las antenas directivas (por ejemplo: una emisora de radio comercial o una estación base de teléfonos móviles) usan menos potencia, pero si se desea más potencia que por lo general es en una sola dirección y esta no interferir a otros servicios como (antenas entre estaciones de radioenlaces).(Cardama Aznar et al., 2002)

Otra característica muy común en una antena es que depende de la relación que existe entre sus dimensiones (incluido su forma) y también de la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia a transmitir o recibir. Si las medidas o dimensiones de una antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan *elementales*, si tienen dimensiones del orden de media

longitud de onda se llaman *resonantes*, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son *directiva*(Cardama Aznar et al., 2002)

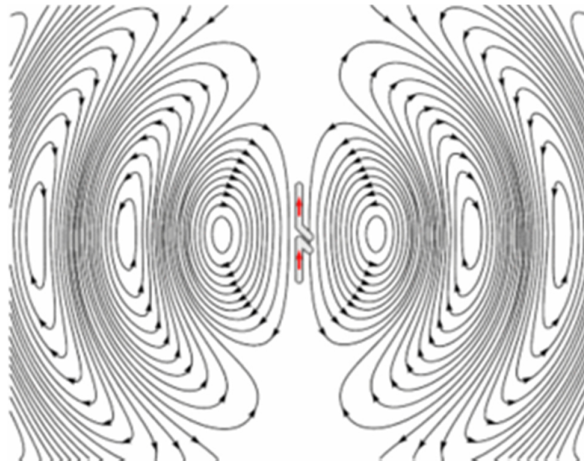


Figura 6. Antena irradiando ondas

Fuente: Balanis, 2005

a. Tipos de antena

Existen varios tipos de antena, de acuerdo a su forma, a su estructura la forma de irradiar la señal, etc. En esta parte describiremos brevemente los tipos de antena.

Antenas de cable

Como lo dice su nombre son hechas de alambre o cable por lo que se pueden ver en diferentes lugares como: autos, edificios, barcos, aviones, naves espaciales, entre otros. Se ven diferentes formas de antenas de alambre tales como un alambre recto conocido también como dipolo, el de lazo y el de hélice tal como se muestran en la Figura 7.

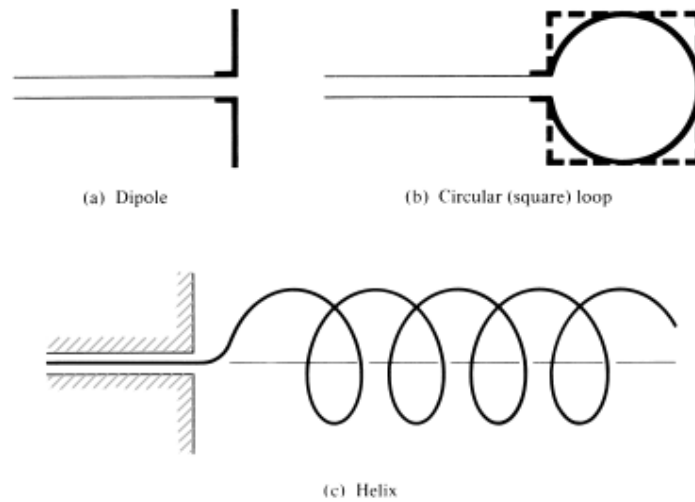


Figura 7. Configuración de la antena de cable

Fuente: Balanis, 2005

Antenas de Apertura

Estas antenas son más conocidos hoy que las antenas de cable en el pasado debido a que la demanda creció y se hizo más sofisticada y su utilización en frecuencias más altas. Existen muchas formas de estas antenas de apertura, algunas de las formas de dichas antenas se muestran en la Figura 8. Estas antenas se usan más en aviones y naves espaciales, porque pueden empotrar sobre la carcasa o estructura de la aeronave o de un vehículo espacial. Adicionalmente las antenas pueden cubrirse con un material dieléctrico para que se encuentren protegidos de las condiciones peligrosas propios del medio ambiente.(Balanis, 2005)

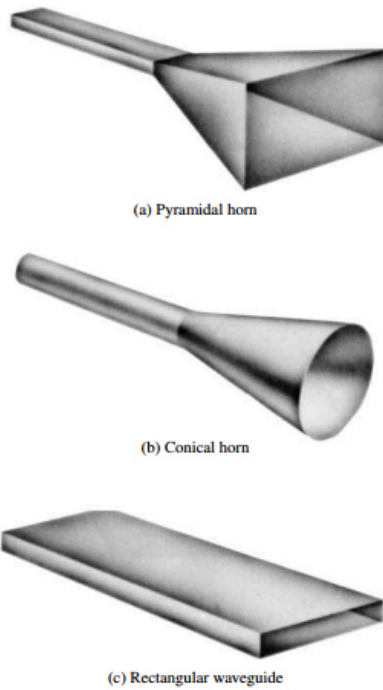


Figura 8. Configuración de antenas de apertura

Fuente: Balanis, 2005

Antenas Microstrip

Este tipo de antena es plana y su fabricación consiste en un parche metálico sobre un sustrato con conexión a tierra. Este parche metálico se puede diseñar con diferentes tipos de software y por ello pueden tomar muchas formas y/o configuraciones diferentes, sin embargo, los parches rectangulares y circulares, mostrados en la Figura 8, son los más populares ya que son fáciles de diseñar y fabricar, y algo a su favor es que presentan atractivas características de radiación, en especial en baja radiación de polarización cruzada. Son de perfil bajo, superficies conformables a planas y no planas, sencillas y económicas de fabricar utilizando tecnología moderna de circuitos impresos, mecánicamente robustas cuando están

montadas sobre superficies rígidas, compatibles con diseños MMIC, también son extremadamente versátiles en su frecuencia de resonancia, en su polarización y en su patrón e impedancia. Al igual que las antenas de apertura estas también se pueden poner o instalar en la superficie de naves espaciales, aviones de alto, misiles, satélites, autos y como veremos en nuestro caso en teléfonos celulares.(Balanis, 2005)

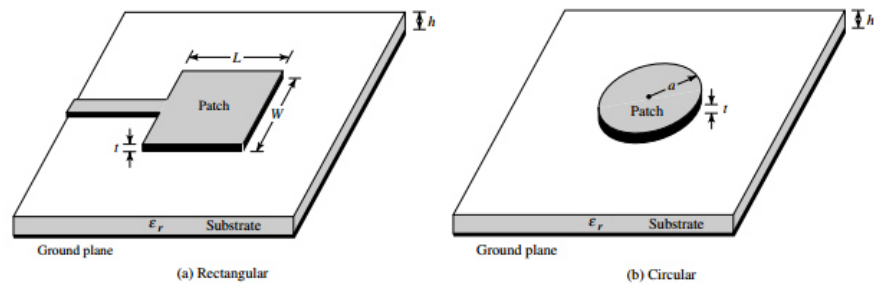


Figura 9. Antenas microstrip rectangulares y circulares (parche)

Fuente: Balanis, 2005

Antenas de Array

En muchas aplicaciones de comunicación se hace necesario ciertas características de radiación, pero estas características resultan casi imposibles alcanzarlos con una sola antena. Por ello se hace necesario hacer un agregado de elementos radiales en una disposición eléctrica y geométrica (esto es una matriz) para que con dicho arreglo resulte en las características de radiación deseada. Esta agrupación puede ser de tal manera que la radiación de las antenas o elementos se agregue para dar una radiación máxima en un sentido o dirección en particular, mínimo en otros, o

de otro modo como se desee. Ejemplos típicos de matrices se muestran en la Figura 9. Por lo general, el término conjunto está reservado para una disposición en la que estos radiadores individuales se encuentran separados tal como se puede ver en las figuras 10 (a-c). No obstante, este término de matriz también es usado para describir un conjunto formado por radiadores que se encuentran montados sobre una estructura continua, mostrada en la Figura 10 (d). (Balanis, 2005)

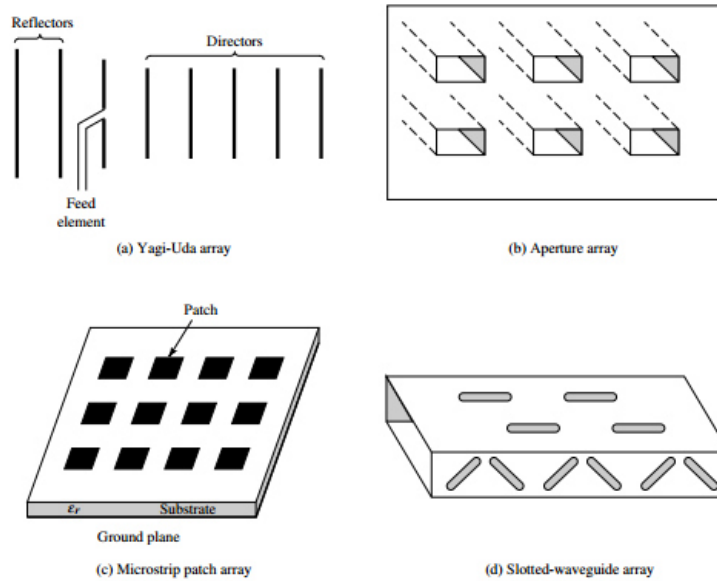


Figura 10. Configuración típicas de alambre, apertura y microstrip

Fuente: Balanis, 2005

Antenas reflectoras

Debido al éxito de las exploraciones del espacio exterior se ha avanzado con nuevas tecnologías el cual dio como resultado en el avance de la teoría de antenas. Entonces se hizo necesario comunicarse a grandes distancias, lo cual dio formas más sofisticadas de antenas para hacer una transmisión y recepción de datos en señales

que debían viajar por millones de kilómetros. Una de las antenas más comunes para tales aplicaciones es un reflector parabólico mostrado en las figuras 11 (a) y (b). Estas antenas se han construido con un diámetro grande por ejemplo de 304 metros el cual en realidad es muy grande. No obstante estas dimensiones grandes se hacen necesarias pues solo así se puede lograr la alta ganancia requerida en la antena para transmitir y recibir señales después de hacer este largo recorrido de millones kilómetros. (Balanis, 2005)

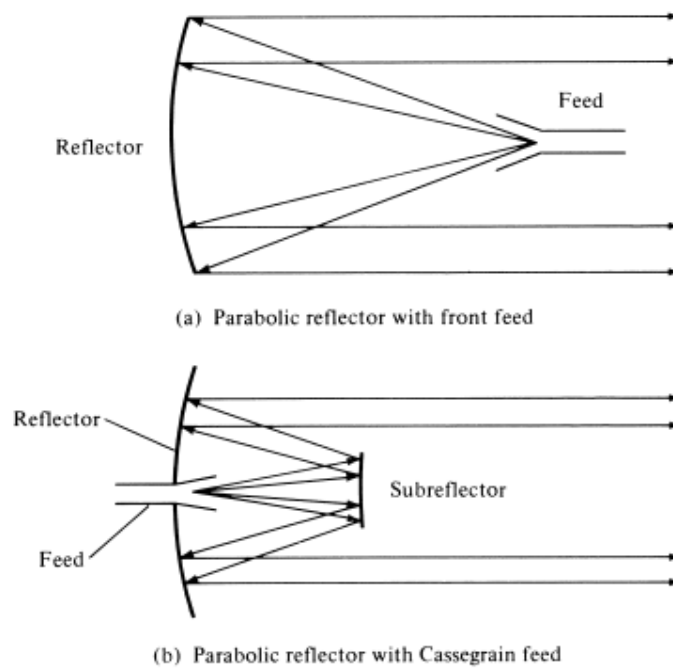


Figura 11. Configuraciones típicas del reflector

Fuente: Balanis, 2005

Antenas de lentes

Se sabe que las lentes son utilizadas en principio para colimar la energía divergente que incide sobre dicha lente y así la lente evita que la energía se propague en direcciones no deseadas. Al elegir el material apropiado de las lentes y configurarlo adecuadamente, se logran transformar diversas formas de energías divergentes en ondas planas. Estas se pueden usar mayormente en las mismas aplicaciones que tienen los reflectores parabólicos, en especial por su uso en frecuencias más altas. Sus medidas y peso se vuelven extremadamente grandes a frecuencias más bajas. Este tipo de antenas se clasifican de acuerdo a su material que se usa para su construcción y también de la forma geométrica que presentan, se muestran las lentes más comunes en la Figura 12.

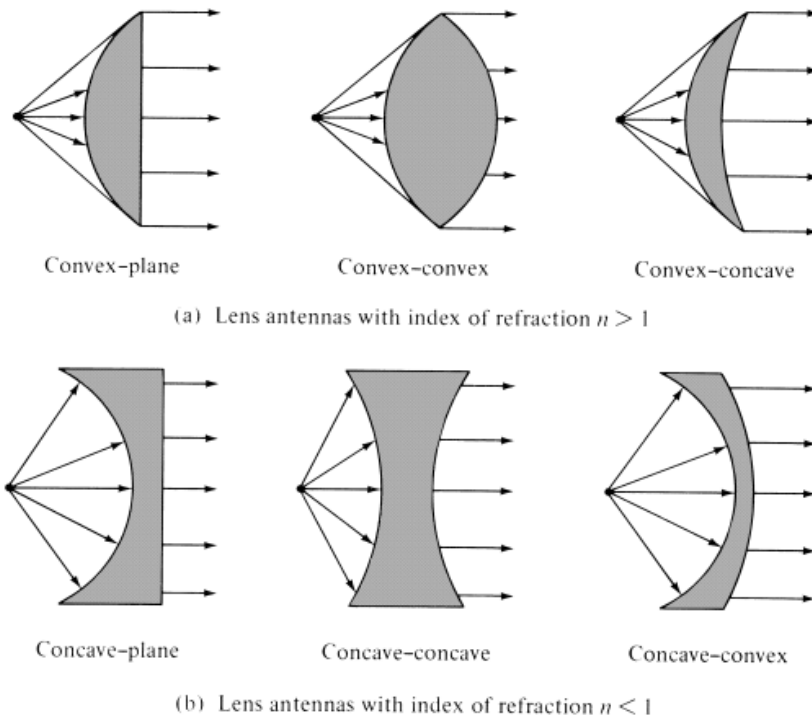


Figura 12. Configuraciones típicas de antenas de lente

Fuente: Balanis, 2005

b. Parámetros de una antena

Una antena se caracteriza por varios parámetros, los cuales describimos los más comunes:

Diagrama de radiación

Una antena irradia de manera irregular en diferentes direcciones esto es debido a su geometría, a sus dimensiones o forma de excitación por ello se hace necesario representar gráficamente las características de radiación que presenta una antena, esta es la gráfica que usaremos en la presente

investigación al representar el teléfono celular y las antenas que tiene a su alrededor. Por lo general se representa habitualmente la densidad de potencia radiada, pero también se encuentran diagramas de polarización o diagramas de fase. En la figura 12 se muestran algunos ejemplos en el cual se representa los diagramas de radiación.

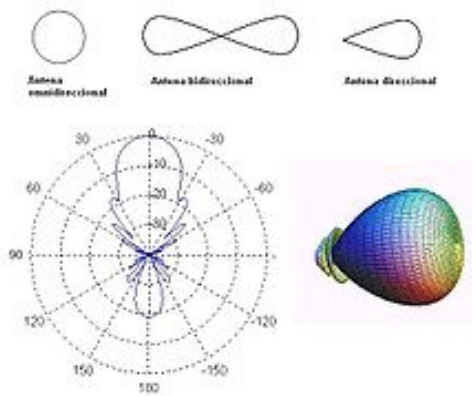


Figura 13. Formas de radiación

Fuente: Wikipedia/antenas

Para construir el diagrama de radiación, se debe tener en cuenta:

- Dirección de apuntamiento
- Lóbulo principal
- Lóbulos secundarios
- Ancho de haz
- Relación de lóbulo principal a secundario

Intensidad de radiación

Es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección, y representa la capacidad que tiene una antena de radiar la energía en dicha dirección. Sus unidades son vatios por estereorradián, y en campo lejano es independiente de la distancia a la que se encuentre la antena. (“Tema 2: Parámetros básicos de radiación 2.1,” 1983)

Ancho de banda

El ancho de banda se determina por la frecuencia superior y la frecuencia inferior del cual existe un rango, en esta se debe considerar la exclusión del nivel de energía en la antena decrece a más de 3dB. (PIAT & BRAULT, 1998)

Directividad

Se conoce como Directividad (D) a la relación que existe entre la intensidad de radiación que emite una antena en la dirección del máximo y la intensidad de radiación de la misma antena isotrópica que radia con la misma potencia total (Cardama Aznar et al., 2002). Por tanto la Directividad no tendrá unidades por lo que expresarse expresa en dB (PIAT & BRAULT, 1998)

Ganancia

La ganancia se encuentra relacionada estrechamente con la directividad antes mencionada, pero más que una relación viene a ser es la medición o medida en el que se tiene en cuenta el rendimiento o eficiencia de la antena y sus capacidades direccionales. Recordemos que la directividad es una medida que describe sólo las

propiedades direccionales de la antena, y por lo tanto es controlada sólo por el patrón. La ganancia también se define como "la relación de la intensidad, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente(Balanis, 2005).

Eficiencia

La eficiencia es una relación que existe entre la potencia radiada de la antena y la potencia entregada a la misma antena. Otra definición que recibe la eficiencia es la relación entre ganancia y la directividad.

Polarización

La polarización se define como "la propiedad de una onda electromagnética que describe la dirección que varía en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico; Específicamente, la figura trazada como una función del tiempo por la extremidad del vector en un lugar fijo en el espacio, y el sentido en el cual se traza, como se observa a lo largo de la dirección de propagación. "La polarización es la curva trazada por el punto final de La flecha (vector) que representa el campo eléctrico instantáneo. El campo debe ser observado a lo largo de la dirección de propagación(Balanis, 2005). Una traza típica en función del tiempo se muestra en las Figuras 13 (a) y (b)

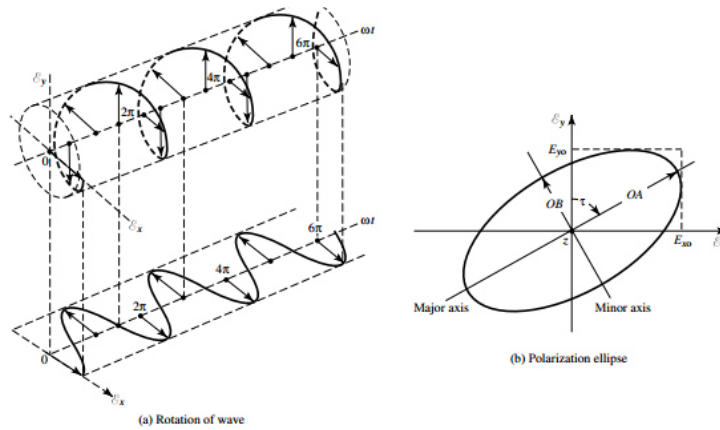


Figura 14. Rotación de una OEM plana y su elipse de polarización

Fuente: Balanis, 2005

2.2.6. Teléfono celular

En su forma básica, un teléfono celular es una radio de dos vías. Se podría pensar como un walkie-talkie sin necesidad de presionar el botón enviar cada vez que quieras decir algo. Cuando marca un número de teléfono utilizando el teclado del teléfono celular y presiona el botón enviar, el teléfono utiliza una conexión de radio a una torre celular para realizar la llamada telefónica. La llamada entonces viaja sobre los alambres de la antena de la radio de la torre de la célula al sistema estándar del teléfono de la línea de la tierra. (Daniel, 2017)

Los teléfonos móviles funcionan en la gama de frecuencias altas (HF) del espectro electromagnético, esto va desde varios cientos de MHz a varios GHz, para permitir llamadas telefónicas inalámbricas y transferencia de datos, incluida la comunicación a través de Internet. No obstante la banda de frecuencia exacta utilizada varía de acuerdo a la tecnología que se utilice (GSM, UMTS, 4G, etc.) y entre cada país (ICNIRP, n.d.-a).

El servicio de telefonía celular móvil está conformado por los propios celulares que llevamos en nuestro bolsillo y por una red de estaciones base de telefonía celular móvil (conformado por antenas) estas son las encargadas de dar cobertura a la zona donde se encuentran ubicadas. Luego se establece la conexión para la comunicación entre el celular y la estación base esta se realiza mediante ondas electromagnéticas conocidos más en esta parte como ondas de radio; por lo tanto, cada teléfono móvil incorpora un transceptor (transmisor-receptor) gracias al cual puede establecer comunicación con una o más estaciones base cercana. El sistema de telefonía móvil más usado en la actualidad en el mundo es el llamado GSM (Global System for Mobile Communication), que trabaja básicamente a 900 y 1.800 MHz. Está ya en el mercado una nueva generación de teléfonos móviles (Universal Mobile Telecommunication System «UMTS» o Tercera Generación «3G») que utilizará un segmento de frecuencias alrededor de los 2,2 GHz (Leal et al., 2005). Aunque se sabe que en la actualidad los operadores de telefonía móvil están implementados las redes 4G, ya que presentan mayor eficiencia y velocidad de conexión.

Por lo tanto podemos resumir que el espectro electromagnético de los celulares está compuesto por dos tipos de ondas, de las cuales algunas están en el mismo rango de frecuencias que los seres vivos, estas son:

1. Las microondas: estas son las ondas que portan la señal y están trabajan en un rango de frecuencia de 900 o 1800 MHz.
2. Las ondas de muy baja frecuencia: estas son las que modulan la señal y se clasifican según su frecuencia, en:

- a) 2 Hz: se usan para evitar la modulación, esta es poco cómoda para los oídos ya que provoca un ruido circundante.
- b) 8,34 Hz: es la frecuencia de emisión de la señal asociada con las condiciones de recepción.
- c) 30-40 Hz: en este rango de frecuencia es que emiten diversos elementos electrónicos internos de la placa del celular.
- d) 217 Hz: esta es la frecuencia de la modulación de portadora de las microondas utilizadas por los sistemas GSM.

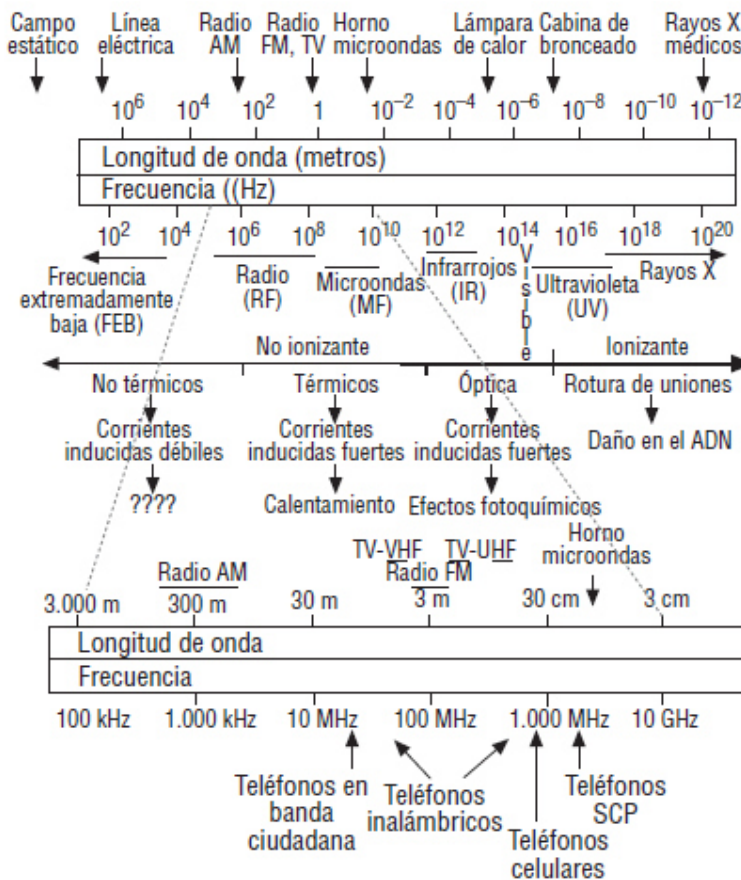


Figura 15. Frecuencia de telecomunicaciones

Fuente: Leal, Abellán, & Casas, 2005

2.2.7. Torres de Celular

Estas son las que han causado gran controversia en la población, desde simples reclamos hasta oponerse totalmente a su instalación tal como muestra la figura 16. Este solo es un ejemplo de como las personas de diferentes ciudades se oponen a estas instalaciones tanto del norte, centro y sur del país.



Figura 16. Oposición de la población a la instalación de antenas

Fuente: RPP Juliaca

No obstante es inevitable pensar que para el sistema telefónico inalámbrico, lo asociemos con la torre del celular, esto es porque las torres son típicamente la única parte visible del sistema telefónico inalámbrico y además es necesario para que se establezca la conexión entre dos celulares.

Las torres celulares contienen montones de antenas de radio en una estructura, una pieza de equipo para manejar las estaciones móviles (teléfonos celulares) en la zona, y en la mayoría de los casos, un sistema de respaldo de batería o un generador de emergencia. Estas torres como mencionamos son visibles en su

mayoría ya que se encuentran en la ciudad sobre las casas, o un área específica especialmente diseñado para colocar dicha torre como se muestra en la figura 17, aunque en algunos casos en ciudades grandes se encuentran camuflados al lado de árboles o avisos.



Figura 17. Torre de antena de celular sobre una casa

Fuente: Elaboración Propia

2.2.8. Comunicación entre torres y celulares

Las comunicaciones entre el celular y el teléfono se dan mediante las ondas terrestres, estas son ondas electromagnéticas que viajan por la superficie de la Tierra. A estas ondas terrestres también se les llama ondas superficiales y deben estar polarizadas verticalmente. Esto se debe a que el campo eléctrico, en una onda polarizada horizontalmente, sería paralelo a la superficie de la tierra, y esas ondas se pondrían en corto por la conductividad del suelo lo cual sería muy peligroso. Con las ondas terrestres, el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre, que hacen circular corrientes muy parecidas a las de una línea de transmisión. La superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por

dieléctrico (Tomasi, 2003). Por lo tanto, las ondas terrestres se atenúan, es decir bajan su potencia a medida que se propagan o viajan. Se sabe que se propagan mejor sobre una superficie buena conductora, como por ejemplo, agua salada, y se propagan mal sobre superficies desérticas. Las pérdidas en las ondas terrestres aumentan rápidamente al aumentar la frecuencia. Por consiguiente, su propagación se limita en general a frecuencias menores que 2 MHz (Tomasi, 2003).

Las antenas montadas en torres permiten determinar la altura para adaptarse a la cobertura requerida, sujeto a cualquier normativa nacional de planificación. Un ejemplo simple se muestra en la Figura 18. En la práctica, el intercambio de mástiles es común y el número total de antenas en un mástil puede ser considerable, particularmente en cualquier emisor de radiodifusión que comparte con sistemas de antena de telefonía móvil. De hecho, dado que hay un ingreso de alquiler de espacio de alquiler en torres (y techos), existe una tendencia a maximizar el uso de las instalaciones existentes.(Kitchen, 2001)

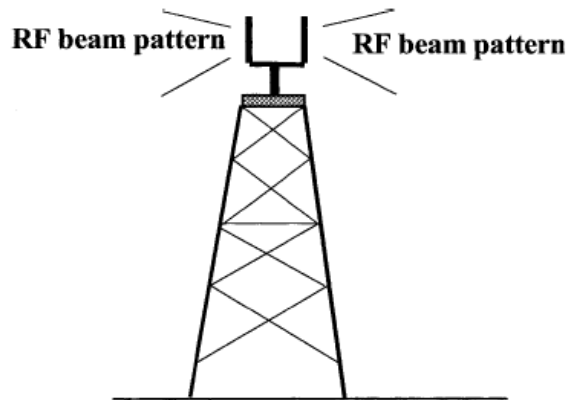


Figura 18. Diagrama de Torre

Fuente: Kitchen, 2001

A continuación veamos un pequeño ejemplo de cómo se da la comunicación de una torre a un teléfono celular, incluyendo los niveles de potencia, en la figura 19 muestra los niveles medidos para cuatro transmisores en la banda nominal de 900 MHz montada en un mástil. Los resultados se expresan como un porcentaje del límite localmente permitido de 2Wm^{-2} . Contra el límite público actual de ICNIRP, deben dividirse por un factor de $4,5 / 2 = 2,25$. Por lo tanto, el nivel más alto en el diagrama (0,74%) se convertiría en 0,33%.

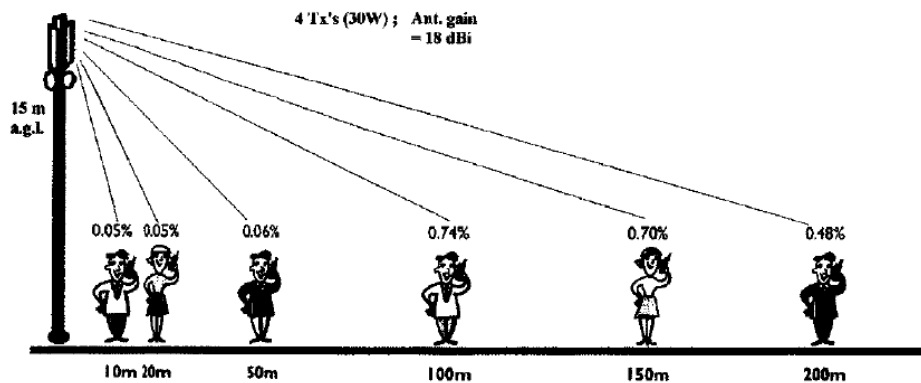


Figura 19. Niveles medidos de las antenas montadas en mástil como un porcentaje de un nivel permitido de 2W/m^2

Fuente: Kitchen, 2001

Se sabe por historia que los primeros sistemas de comunicaciones móviles aparecieron a inicios de los años 80, y estos sistemas eran análogos y operaban en las bandas de frecuencias de 450, 800 y 900 MHz. Posteriormente en los 90 aparecen los sistemas digitales, estos sistemas operaban en otra banda, esta banda comprende frecuencias más altas desde los 1800MHz hasta los 1900 MHz, empleando para ello diferentes técnicas de modulación. Recientemente han surgido

los sistemas de cuarta generación, las que a nivel nacional operan en las bandas de 700MHz y 2,6 GHz(CID BADANI, 2015)

Los teléfonos móviles operan bajo el principio de la red celular, es decir, en vez de utilizar solo un transmisor que tenga gran potencia y amplia cobertura, subdivide la misma en áreas más pequeñas llamadas células que tienen como elemento central a las estaciones base. Estas estaciones base son instalaciones fijas que se interconectan con los teléfonos móviles mediante ondas electromagnéticas de radiofrecuencia. Por otro lado, es necesario que las estaciones base se comuniquen con las centrales de sus propias redes para comunicarse con otros abonados móviles y con las centrales de telefonía fija, para interconectar a los abonados móviles con los abonados de telefonía fija, lo cual también se realiza utilizando campos electromagnéticos; por lo tanto, las personas en las cercanías tanto del teléfono como de la estación base son expuestas a radiaciones electromagnéticas(Cruz Ornetta, 2014). En la Figura 20 mostramos de manera esquemática la red de telefonía móvil y sus componentes principales.

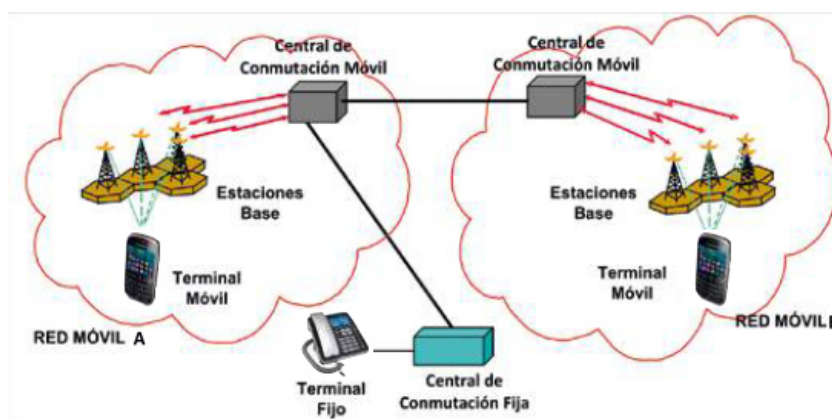


Figura 20. Esquema simplificado de un sistema de telefonía celular

Fuente: Cruz Ornetta, 2014

2.2.9. Frecuencia y asignación de banda

Como vimos en el subtítulo anterior, describimos como se establece la conexión en una llamada, no obstante este se hace a una frecuencia determinada, esto depende de cada operador móvil y de cada país, esta frecuencia más específicamente frecuencias es asignada por un organismo del estado en el Perú está a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), en la Tabla 1 se muestra los rangos asignados a los operadores de telefonía móvil celular, estas corresponden a las asignaciones realizadas en las bandas de 800 MHz, 900 MHz y 1900 MHz.

Tabla 1. Asignación a los operadores de bandas de 800, 900 y 1900 MHz

Empresa	Banda (MHz)	Cantidad (Uplink + Downlink) (MHz)	Total de espectro asignado (MHz)	
			Lima y Callao	Provincias
TELEFONICA MOVILES S.A.	800	25	50	50
	1900	25		
	900 ^{ac}	10 (Lima y Callao) 16 (Provincias)	10	16
AMÉRICA MÓVIL PERÚ S.A.C.	800	25	60	60
	1900	35		
NEXTEL DEL PERÚ S.A.	800	16,4 (Lima y Callao)	57,375	50,65 ^{al}
		Variable ^{az}		
	800	5,975 (Lima y Callao)		
	1900	35		
VIETTEL PERU S.A.C.	1900	25	25	25

Fuente: Diario el Peruano (Comunicaciones, 2012)

2.2.10. Potencia de radiación y tasa de absorción

Los niveles de la exposición producida por una estación base han sido medidos desde hace mucho tiempo, tanto en el Perú como en el ámbito internacional (Cruz Ornetta, 2014; MTC, 2017a). En la Figura 21 se muestra el circuito de exposición para una estación base.

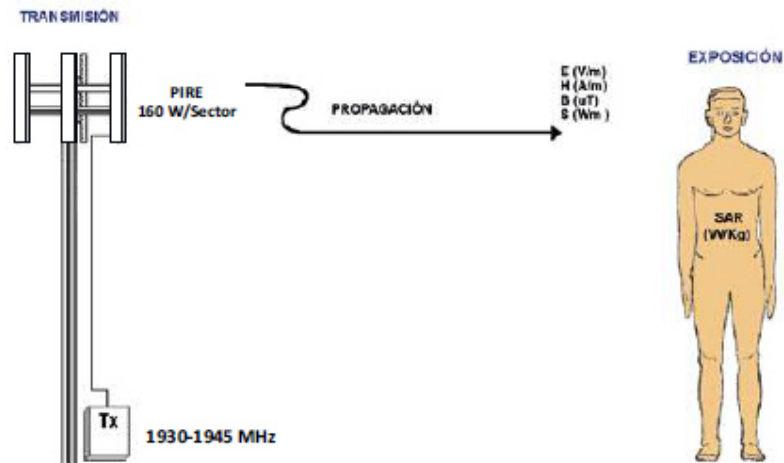
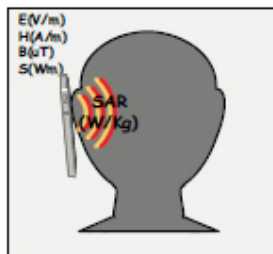


Figura 21. Diagrama del circuito de la exposición de una estación base móvil, donde ilustra el concepto de SAR de cuerpo total producido.

Fuente: Cruz Ornetta, 2014

La radiación emitida por la antena de los teléfonos móviles es pequeña, normalmente por debajo de los límites máximos permisibles recomendados internacionalmente, por lo que no genera un calor significativo en los tejidos del oído o la cabeza; sin embargo, un incremento en la temperatura de la piel puede ocurrir como consecuencia de ubicar el teléfono móvil muy cerca del oído o la cabeza, restringiendo el flujo de aire en los mismos (Cruz Ornetta, 2014; MTC, 2017a). En la Figura 22 se muestra el circuito de exposición para un teléfono móvil, estas radiaciones de los celulares se miden en términos de la tasa de absorción específica (SAR) local de la cabeza.



- E: Campo eléctrico
- H: Campo magnético
- B: Densidad de flujo magnético
- S: Densidad de potencia

Figura 22. Diagrama de exposición para un celular donde se ilustra el concepto de SAR localizado

Fuente: Cruz Ornetta, 2014

2.2.11. Medidor de Radiaciones no Ionizantes

Ya sabemos cómo se da la comunicación cuando realizamos o recibimos en una llamada y los elementos y/o dispositivos que intervienen en estos, no obstante surge la pregunta que tanto de potencia de radiación se emite en este tipo de comunicación y como se puede medirlo.

Para resolver este problema existen diferentes equipos que hacen esta medición, tanto del campo eléctrico como del campo magnético, estos equipos son operados por los ministerios y organismos correspondientes a las telecomunicaciones como el INICTEL de la UNI, el Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC), empresas de telefonía, empresas privadas, universidades, entre otros.

Con respecto al MTC, realiza constantemente mediciones de todo tipo incluido las radiaciones de los campos electromagnéticos también conocidos como radiaciones no ionizantes, estas mediciones lo hacen por diferentes zonas del Perú, desde el departamento de Lima hasta todas sus provincias dichas mediciones las hacen para hacer cumplir las normas vigentes por el estado peruano; las mediciones que

realiza que mide el MTC son de las antenas en los servicios de radio tanto FM como AM, Televisión , Telefonía móvil, entre otros.

En la figura 23, se muestra una de las tantas mediciones que hizo y hace el MTC, esto debido a las constantes quejas generalmente de los pobladores, por lo cual el MTC recurre ante ese llamado.



Figura 23. Mediciones de RNI hecho por el MTC

Fuente: MTC

2.2.11. Normas y estándares sobre los límites de RNI

Como bien es sabido existen normas que protegen al ser humano ya que al avanzar la tecnología y la industria, ha hecho que el mismo ser humano use los recursos de manera descontrolada y esto a traído consecuencias en el medio ambiente, por ello es que en la actualidad existan normas y Estándares de Calidad Ambiental (ECA), la cual muestra límites admisibles para el ser humano como para el agua, el suelo, el aire, entre otros; esto también se da con respecto a la Radianes Electromagnéticas

específicamente a las Radiaciones No Ionizantes (RNI), estas han sido dadas a nivel internacional por el INRCN, IEEE, OMS, entre otros.

Por otro lado a nivel nacional existen normas para esta RNI, están han sido desarrollados tomando en cuenta los estándares internacionales, de esto se ha en cargado los organismos o instituciones promovidas por el gobierno peruano, por eso mediante el DECRETO SUPREMO N° 038-2003-MTC, menciona que los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, los valores establecidos como niveles de referencia por la Comisión Internacional de Protección en Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), tal como se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 2. Límites para exposición ocupacional

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 - 65 KHz	610	24.4	-
0,065 - 1 MHz	610	1,6 / f	-
1 - 10 MHz	610 / f	1,6 / f	-
10 - 400 MHz	61	0,16	10
400 - 2000 MHz	3 f ^{0,5}	0,008 f ^{0,5}	f / 40
2 - 300 GHz	137	0,36	50

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 038-2003-MTC

Tabla 3. Límites 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 - 150 KHz	87	5	-
0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
1-10 MHz	87/f ^{0,5}	0,73/f	-
10-400 MHz	28	0,073	2
400-2000 MHz	1,375 f ^{0,5}	0,0037 f ^{0,5}	f / 200
2 - 300 GHz	61	0,16	10

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 038-2003-MTC

Por otra parte la Resolución Ministerial R.M. N° 120-2005-MTC/03: Define límites máximos permisibles de RNI para el caso de “Áreas de Uso Público” como colegios, hospitales, centros de salud y clínicas, los cuales son inferiores a los establecidos en el DS 038-2003-MTC.

Tabla 4. Niveles de referencia para exposición poblacional en áreas de uso publico

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
9 – 150 KHz.	61,5	-
0,15 – 1 MHz.	61,5	-
1 – 10 MHz.	$61,5 / f^{0,5}$	-
10 – 400 MHz.	20	1
400 – 2000 MHz.	$0,9721^{0,5}$	$f / 400$
2 - 300 GHz.	43,1	5

Fuente: (PERUANO, 2005)

Según los estándares antes mencionados, en los últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud (OMS, 2014).

Con respecto a que se cumplan dichos límites, el Texto Único Ordenado (TUO) del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones – OSIPTEL, en su Art 258°, indica que el incumplimiento de las obligaciones de no exceder los valores establecidos de RNI en telecomunicaciones constituye una infracción muy grave (OSIPTEL, 2017c).

Por otro lado la Autoridad Nacional de Agua (ANA), en la Ley general del Ambiente ley 28804 en su artículo 31, define el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el

aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (ANA, 2005).

En base a lo anterior el Ministerio del Ambiente (MINAM) en su resolución ministerial R.M. N° 082 – 2016 – MINAM, en su Artículo 1 decreta la actualización de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Radiaciones No ionizantes de acuerdo con la tabla 5 (MINAM, 2016).

Tabla 5. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para RNI

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico E(V/m)	Intensidad de campo magnético H(A/m)	Densidad de Flujo Magnético B(μT)	Densidad de Potencia S(W/m ²)	Principales aplicaciones (no restrictiva)
Hasta 1Hz	-	3.2x10 ⁴	4x10 ⁴	-	Lineas de energía para trenes eléctricos, resonancia magnética
1 - 8 Hz	5000	3.2x10 ⁴ /f ²	4x10 ⁴ /f ²	-	-
8 - 50 Hz	5000	4000/f	5000/f	-	Lineas de energía para trenes eléctricos, redes de energía eléctrica
0.05 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-	Redes de energía eléctrica, monitores de video
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-	Monitores de video
3 - 150 kHz	83	5	6.25	-	Monitores de video
0.15 - 1 MHz	83	0.73/f	0.92/f	-	Radio AM
1 - 10 MHz	83/f ^{0.5}	0.73/f	0.92/f	2	Radio AM, diatermia
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2	Radio FM, TV VHF, Sistema móviles y de Radionavegación aeronáutica, teléfonos inalámbricos, resonancia magnética, diatermia
400 - 2000 MHz	1.375/f ^{0.5}	0.0037f ^{0.5}	0.0046f ^{0.5}	f/200	TV VHF, TDT, telefonía móvil celular, servicio troncalizado, servicio móvil satelital, teléfonos inalámbricos, sistema de comunicación personal
2 - 300 GHz	61	0.16	0.2	10	Redes de telefonía inalámbrica, teléfonos inalámbricos, comunicaciones por microondas y vía satélite, radares, homólogos microondas

Fuente: R.M. N° 082 – 2016 – MINAM

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Carga o Carga Eléctrica

Es una propiedad de la materia que nos indica el exceso o defecto de electrones que tiene un cuerpo, su unidad es el Coulomb (C). Su valor numérico se puede calcular con: $Q = n q_e$; donde n es un número entero positivo o negativo y q_e es la carga eléctrica del electrón cuyo valor es $-1,6 \times 10^{-19}$ C.

2.3.2. Intensidad de Campo eléctrico

La intensidad de campo eléctrico (E) o también conocido como campo eléctrico, es el lugar o región donde ocurren interacciones eléctricas, por ejemplo cuando dos cargas eléctricas interactúan atrayéndose o repeliéndose; su unidad de medida es el Voltio por metro (V/m).

2.3.3. Intensidad de Campo magnético

La intensidad de campo magnético (H) o también conocido como campo magnético, es el lugar o región donde ocurren interacciones magnéticas como ocurre por ejemplo entre dos imanes al atraerse o rechazarse mutuamente, su unidad de medida es el Amperio por metro (A/m).

2.3.5. Radiación Ionizante

La radiación ionizante es una radiación que posee una energía suficiente con el cual logra romper las uniones de los átomos y esto hace que se rompan y modifiquen las cadenas de ADN. Entre este tipo de radiación tenemos los más conocidos las radiaciones Ultra-Violeta, los Rayos X y los Rayos Gamma.

2.3.6. Radiación No ionizante

También conocido como RNI, esta comprende un rango del espectro electromagnético en cuya energía de dicha radiación es insuficiente para romper las uniones atómicas, incluso a intensidades altas. EN consecuencia este tipo de radiaciones no puede ocasionar alteraciones, de manera directa, sobre las cadenas de ADN de las células. Sin embargo, las RNI pueden ceder energía suficiente para producir efectos térmicos, un ejemplo de esto tenemos el microondas que usamos para calentar la comida gracias a este efecto térmico. Por otro lado, las RNI intensas de frecuencias bajas pueden inducir corrientes eléctricas en los tejidos, pudiendo de esta manera afectar el funcionamiento de células sensibles a dichas corrientes, tales como las células musculares o las células nerviosas (CID BADANI, 2015)

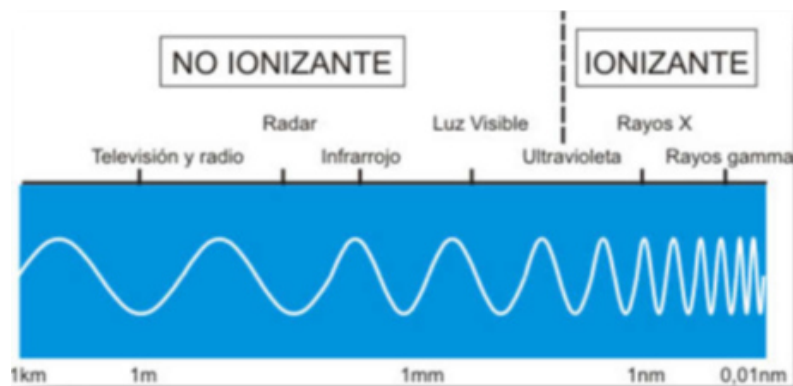


Figura 24. Clasificación de las RNI y RI

Fuente: CID BADANI, 2015

2.3.7. Tasa de absorción específica

La tasa de absorción específica (SAR) es la absorción de potencia máxima de un campo electromagnético esta puede ser de una antena de teléfono o antenas de televisión o similares, esta es la que absorbe el tejido vivo, como las diferentes

partes de cuerpo. La SAR viene hacer la potencia absorbida por la masa de los tejidos su unidad es el vatios por kilogramo (W/kg).

2.3.8. Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)

La ICNIRP proporciona asesoramiento científico y orientación sobre los efectos en la salud y el medio ambiente de la RNI para proteger a las personas y el medio ambiente de la exposición perjudicial a RNI.

ICNIRP brinda recomendaciones sobre la limitación de la exposición de las frecuencias en los diferentes subgrupos RNI. Desarrolla y publica Directrices, declaraciones y revisiones utilizadas por organismos de protección radiológica regionales, nacionales e internacionales, como la Organización Mundial de la Salud. ICNIRP es uno de los principales contribuyentes al diálogo científico internacional RNI y al avance de la protección RNI (ICNIRP, n.d.-b).

2.3.9. Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)

La IEEE es la organización profesional técnica más grande del mundo dedicado al avance de la tecnología para el beneficio de la humanidad, bajo su IEEE-SA que es líder de creación de consenso que nutre, desarrolla y fomenta las tecnologías globales, impulsando la funcionalidad, las capacidades y la interoperabilidad de una amplia gama de productos y servicios que transforman la forma en que las personas viven, trabajan y se comunican.

2.3.10. Ministerio del Ambiente (MINAM)

El MINAM es un ministerio del estado en cuya misión está el asegurar el uso sostenible, la conservación de los recursos naturales y la calidad ambiental en beneficio de las personas y el entorno, de manera normativa, efectiva, descentralizada y articulada con organizaciones públicas y privadas y sociedad civil, en el marco del crecimiento verde y la gobernanza ambiental, uno de los trabajos del es mediante su Dirección General de Calidad Ambiental promueve la mejora y preservación de la calidad del ambiente, mediante la adecuada gestión y control de la calidad del agua, aire y suelo. Para conseguirlo, hemos hecho de la evaluación, control y previsión nuestros pilares (MINAM, 2017).

En base a lo anterior de asegurar y controlar que no se sobrepase los estándares el MINAM –a través de la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA)– solicitó al Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL-UNI) una evaluación de las Radiaciones No Ionizantes (RNI) producidas por los Servicios de Telecomunicaciones y Redes Eléctricas en Lima. La idea es que, con ellas, se midan los niveles de RNI emitidos por dichos servicios y conocer si cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA-RNI).

2.3.11. Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL)

El OSIPTEL es una entidad pública descentralizada encargada de regular y supervisar el mercado de servicios públicos de telecomunicaciones, independiente de las empresas operadoras. El OSIPTEL está adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros. Fue creado el 11 de julio de 1991 mediante Decreto Legislativo N°

702, e inició sus actividades con la instalación de su primer Consejo Directivo el 26 de enero de 1994 (OSIPTEL, 2017b).

2.3.12. Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC)

El MTC es un órgano del Poder Ejecutivo, este es el responsable del desarrollo de los sistemas de transporte, la infraestructura de las comunicaciones y telecomunicaciones del país. La Su labor que realiza es importante o hasta se podría decir que es crucial para el desarrollo socio-económico del país ya que permite la integración nacional, regional e internacional, también trae ventajas como la facilitación del comercio, la reducción de la pobreza y el bienestar del ciudadano.

Con respecto a nuestro caso de estudio, es decir las comunicaciones, tiene órganos competentes, que tienen a su cargo la evaluación y tramitación de las solicitudes relacionadas con la operación de estaciones de radio y televisión de señal abierta y servicios privados de telecomunicaciones, además de la planificación del espectro radioeléctrico que utilizan las mismas. También ejerce la función de controlar y supervisar la prestación de los servicios y actividades de comunicaciones, con la potestad para sancionar en el ámbito de su competencia y de velar por el uso correcto del espectro radioeléctrico (MTC, 2017b).

2.3.13. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL)

El Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones - INICTEL, fue un Organismo Público Descentralizado del Subsector Comunicaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, con personería jurídica, autonomía administrativa, económica y técnica; creado por Decreto Ley

N.º 19020 Ley General de Telecomunicaciones, del 9 de noviembre de 1971 y por Decreto Ley N.º 19984 del 13 de abril de 1973, se establece su organización y sus funciones generales. El 17 de Agosto del 2006 mediante el Decreto Supremo Nro 030-2006-MTC, aprueban la fusión por el cual las funciones del Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones – INICTEL, en materia de capacitación, formación profesional, especialización de estudios, proyectos e investigación son transferidas y absorbidas por la Universidad Nacional de Ingeniería (INICTEL, 2017).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Como bien es sabido existen muchos métodos de investigación incluso hablando de una misma área de estudio, así mismo muchos autores difieren en cuanto a los tipos de investigación, más incluso cuando es en el área de ingenierías ya que en su mayoría son aplicaciones o experimentación en el campo y la mayoría de los autores incluso formatos de investigación o de tesis están más relacionados con las ciencias sociales; no obstante existen grandes cambios cuando hablamos de trabajos de investigación internacional conocido comúnmente como paper estas dan modelos de los formatos a utilizar en este campo si está bien desarrollado para cada área y tema de interés del investigador incluso el llamado a publicar estas revistas científicas e indexadas se da en su página web de cada revista o también en congresos que tienen esta opción como es el caso de congresos de la IEEE Explorer que lleva a cabo congresos y hace llamado a publicar trabajos de investigación que posteriormente sería publicado en su revista; pero en nuestro caso usaremos los modelos tradicionales de tipo de investigación que son ampliamente usadas en nuestra región.

El tipo de investigación es el de estudios CORRELACIONALES, ya que relacionaremos las variables y como estos se relacionan; es decir se busca mostrar la posible asociación o relación entre dos o más variables o resultados de variables, conceptos o categorías con el fin de conocer su comportamiento a partir de dicha relación (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010).

Por otra parte también usaremos el tipo de investigación de estudios EXPLICATIVOS ya que una vez encontrados la relación entre las variables veremos qué factores causan que estas variables cambien; es decir este tipo de estudio trata de explicar las causas por las cuales ocurren determinadas situaciones, hechos o fenómenos. Es una investigación más compleja que las anteriores por que en un estudio explicativo se encontraran la descripción de las variables de un fenómeno, así como el análisis de la relación que existe entre ellas (Arbaiza Fermi, 2014).

3.2. Diseño de investigación

De la misma forma que la metodología de la investigación también existen diferentes tipos de investigación y estas definiciones también viene de años anteriores, considerando entonces el alcance, el tipo de estudio el lugar donde desarrollaremos el proyecto, escogemos el DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental, comprende la manipulación de las variables independientes para medir y obtener una relación de la variable dependiente. Para que un sea experimental, es indispensable la existencias de una manipulación intencional de las variables independientes, en busca de la relación causal, es decir, para observar si esta manipulación provoca un efecto sobre la variable dependiente.

Así mismo, es necesario que la variable dependiente sea medida, así se comprobara el cambio frente a la intervención (Arbaiza Fermini, 2014).

En nuestro caso de estudio, manipularemos la variable independiente COBERTURA debido a la presencia de antenas, esto lo logramos al movilizarnos de un lugar a otro, esto lo corroboramos en el mismo celular ya que este cuenta un indicador de cobertura que por lo general se encuentra ubicado en la parte superior del lado derecho.

La otra variable a manipular es la variable independiente RADIACIÓN del teléfono móvil, esto la hacemos variar al realizar una llamada en un punto determinado, según los pasos antes explicados, esta variable será medida con el medidor de radiaciones no ionizantes, al final se construye una tabla de 3 puntos y vemos como la variable se comporta con respecto al tiempo.

Al final las variables independientes COBERTURA y RADIACIÓN, hacen variar a la variable dependiente que viene hacer la relación entre la potencia de radiación emitida por el teléfono móvil y la cobertura.

Finalmente analizaremos el comportamiento del teléfono móvil al realizar una llamada en diferentes coberturas, luego las tablas de radiación obtenidas para tres punto a diferentes coberturas se comparan con los estándares nacionales e internacionales, para corroborar si exceden los Límites Máximos Permitidos.

Al final de la investigación se presentan las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos y el uso de los teléfonos móviles.

3.3. Población y muestra

Nuestro principal elemento de estudio es el teléfono celular, sabemos que contamos en el Perú con 4 operadores de telefonía móvil celular (Ministerio de transporte y Comunicación, 2012) y además según las estadísticas existen más de 38 millones de teléfonos móviles (OSIPTEL, 2017a) lo que hace que en su mayoría cuente con el teléfono celular, de diferentes operadores, marcas, modelos, entre otros es decir nuestra población estaría representada por todos los teléfonos móviles existentes.

Para este estudio de la población de todos los teléfonos móviles celulares tomaremos una muestra, ya que todos los teléfonos celulares presentan las mismas características de funcionamiento solo varían en pequeños elementos de fabricación pero el funcionamiento es el mismo, aunque se ha realizado la prueba con tres teléfonos celulares (SONY XPERIA Z, MOTOROLA G4 y ZTE A465) solo mostraremos para el presente estudio los resultados con el celular de la marca ZTE modelo A465 de la línea movistar, que se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Teléfono celular ZTE Blade A465

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1. Ubicación

Se hizo las pruebas de la muestra es decir el teléfono celular, se hizo en diferentes puntos de la Ciudad del Cusco, lugares donde había buena cobertura debido a la presencia de antenas, y lugares alejados donde casi la cobertura era nula; de estos 8 puntos medidos escogemos los más representativos quedándonos solo con 3 puntos.

Las coordenadas de la ubicación de los 3 puntos medidos lo mostramos a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6. Ubicación y coordenadas de la muestra

PUNTO	COORDENADAS	UBICACION
1	S 13°31'15.4"	HOSPITAL ADOLFO GUEVARA VELASCO
	w 71°56'49.5"	
2	S 13°31'31.4"	Av. Collasuyo
	w 71°57'33.8"	
3	S 13°30'31"	Q'enqo
	w 71°58'14.1"	

Fuente: Elaboración Propia

Estos puntos se pueden localizar en el mapa (google maps) para ello solo introducimos la coordenadas del punto que deseamos ubicar por ejemplo si queremos ubicar el punto 3, solo copiamos las coordenadas S 13°30'31" w 71°58'14.1" en el buscador del mapa y nos saldrá el punto donde esta esas coordenadas, el resultado se muestra en la figura 26.



Figura 26. Ubicación del punto 3, Q'eqo

Fuente: Google maps

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas y recolección de datos son los medios que permiten observar y registrar características, conductas, etc, y en general cualquier dato que se desea obtener (Bautista, 2009). En nuestro caso por tratarse de medir directamente los fenómenos físicos usaremos instrumental especializado para hacer dichas medidas.

La técnica que se usó para obtener la data es realizar las mediciones de RNI de manera directa, para ello existen muchos equipos que realizan la estas mediciones, no obstante en el Perú solo lo tienen algunas compañías privadas de telefonía móvil, el INICTEL y el MTC, se ha visitado las instalaciones de INICTEL y del MTC notándose que los dos cuentan con el medidor de campos magnéticos y eléctricos de la marca NARDA.

3.4.1. Procedimiento y protocolo para mediciones de RNI

Según las recomendaciones de los expertos, recomienda un procedimiento para la medición de las ondas electromagnéticas, esta se muestra a continuación:

- Se define el lugar donde se va a realizar la medición.
- Se inspecciona el lugar escogido y se determina las fuentes de radiofrecuencia, tipos de emisión, características de irradiación y entorno circundante.
- Se determina el esquema de medición
- Se determina el instrumental y sondas a emplear en el proceso de medición
- Se procede con los protocolos de medicación, tal como se muestra en la figura 27, por la general se usa la regla de los 6 minutos
- Se definición de los puntos a medir, en base al protocolo escogido.
- Se procede con las mediciones y posteriormente se confecciona los informes respectivos.

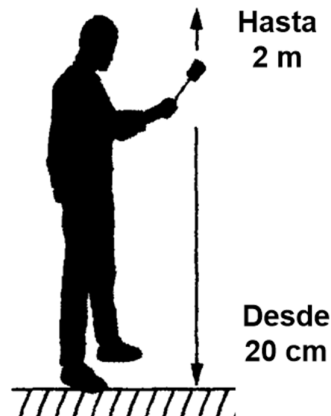


Figura 27. Protocolo de medición de radiaciones

Fuente: MTC

3.4.2. Medidor de RNI

Existen muchos instrumentos para medir radiaciones pero el mas conocido y usado es el de marca Narda, por eso el instrumento a utilizar para las mediciones de potencia de radiación es el de la marca Narda, específicamente el modelo NARDA SRM-3006 BASIC UNIT, este equipo mide frecuencias de un rango de 9 kHz hasta 6 GHZ, es de fabricación alemana y el año de fabricación es el 2012, es programable y selectivo, este equipo se encuentra en el Ministerio de Transporte y Comunicaciones de la ciudad del Cusco, con coordinaciones previas y permisos respectivos se procedió a reconocer el equipo (Figura 28). Cabe señalar que este mismo instrumento posee el INICTEL de la UNI, que dan cursos y capacitaciones en el manejo de este equipo.



Figura 28. Medidor de Radiaciones NARDA

Fuente: Foto propia

3.4.3. Mediciones de las RNI y Trabajo de Campo

Para hacer las mediciones con el equipo, primero se configuro el mismo mediante el software usando una PC, en esta se puede realizar diferentes configuraciones, en nuestro caso se configuro en la norma del ICNIRP, ya que como se vio antes las normas peruanas respecto a los límites máximos permitidos y los estándares ECA, están basado en este instituto, por ello el software de Narda trae por defecto esta configuración.

Posteriormente de configurado el equipo se hicieron pruebas centro del MTC, y se alistaron las herramientas con que viene el equipo como antenas y baterías.

Posteriormente se contrató una movilidad particular y con un personal calificado de la institución del MTC Cusco, procedimos a ir a diferentes puntos, pero como mencionamos anteriormente consideraremos 3 puntos principales por sus características de cobertura, estos puntos lo mostramos en la tabla 6.

Una vez llegado al punto de interés, se procedió con el protocolo antes mencionado en el punto 3.4.1. Se hizo las mediciones en 4 veces en el mismo punto, en un rango de 6 minutos aproximadamente (esto según los protocolos de medida) para esto de localizo el punto se hizo la medición antes de realizar la llamada del teléfono celular, al hacer la llamada y al conectarse la llamada (Figura 29).



Figura 29. Medición del punto 3, Q'enqo – Cusco

Fuente: Foto Propia

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Después de realizar las medidas en los puntos antes mencionados, mediante el software del Narda (Figura 30) se procedió a descargar la información, también ayudándonos con fotos del mismo equipo en tiempo real de las mediciones, una vez obtenido los datos de paso a tablas de Excel, a pesar de que existe muchos softwares muy buenos para el análisis de datos como el SPSS, el R, entre otros, vi por conveniente usar EXCEL ya que los datos no son muchos y no requiere mucho procesamiento de los mismos, por otro lado usaremos tasas de variación por lo cual tampoco es necesario otro software ya que estas operaciones no requieren de mucha capacidad de procesamiento.

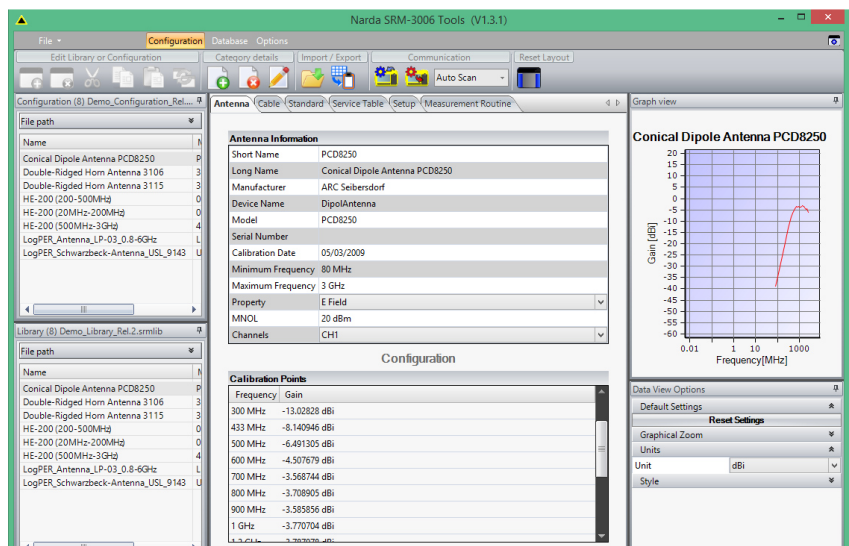


Figura 30. Interfaz de trabajo del Software de Narda

Fuente: Elaboración Propia

Los datos obtenidos se ordenaron según los puntos medidos y se construyó las tablas en Excel, según la ubicación; en la parte horizontal se presenta los periodos de tiempo medido y en la parte vertical las densidades de potencia de forma porcentual según las normas.

Tabla 7. Potencias de radiación en el punto 1– Hospital Adolfo Guevara Velasco

Medicion	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
1	0.0006	0.0006	0.00291	0.00291	0.00291	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
2	0.00271	0.00271	0.00896	0.00896	0.00586	0.00271	0.00271	0.00271	0.00271	0.00271
3	0.0006	0.0006	0.0006	0.00291	0.00291	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
4	0.0006	0.0006	0.0006	0.00291	0.00291	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
PROMEDIO	0.00113	0.00113	0.00327	0.00442	0.00365	0.00113	0.00113	0.00113	0.00113	0.00113

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Potencias de radiación en el punto 2 – Av. Collasuyo

Medicion	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
1	0.0142	0.0142	0.44	0.44	0.44	0.0142	0.0142	0.0474	0.0474	0.00142
2	0.076	0.076	0.63	0.63	0.63	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076
3	0.065	0.065	0.68	0.68	0.68	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065
4	0.1	0.1	0.48	0.48	0.48	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PROMEDIO	0.0638	0.0638	0.5575	0.5575	0.5575	0.0638	0.0638	0.0721	0.0721	0.06061

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Potencias de radiación en el punto 3 – Q'enqo

Medicion	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
1	0.00418	0.0011	0.004	0.004	0.004	0.00418	0.00418	0.00418	0.00418	0.00418
2	0.00513	0.0052	0.00884	0.00884	0.00884	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.00513
3	0.00418	0.011	0.4	0.4	0.4	0.011	0.011	0.011	0.0052	0.0052
4	0.00418	0.011	0.4	0.4	0.4	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
PROMEDIO	0.00442	0.00708	0.20321	0.20321	0.20321	0.00785	0.00785	0.00785	0.0064	0.00638

Fuente: Elaboración propia

Los datos mostrados de las tablas 7 al 9, muestran los resultados medidos en los puntos mencionados, para el análisis de estos datos sacamos el promedio, posteriormente se procederá al procesamiento de los datos; existen muchos métodos estadísticos para el procesamiento de los datos no obstante como nuestro objetivo es como varia la radiación del teléfono móvil al realizar una llamada, por lo tanto nos interesa ver como varia dicha radiación con respecto al tiempo; una de las herramientas as fáciles y confiables de usar el de la de crecimiento (TC) ya que en esta como su propio nombre lo dice vemos como crece una cantidad con respecto a las otras, y esto nos dará una idea objetiva del comportamiento de los valores de potencia emitida por la antena del teléfono celular móvil; para calcular la TC usaremos la formula mostrada a continuación:

$$TC = \frac{Vf - Vi}{Vi} \times 100\%$$

Dónde: Vf: valor final (valor a comparar)

Vi: valor inicia o valor de referencia

TC: tasa de crecimiento

Nótese que esta fórmula me permite normalizar los datos, es decir al hacer la comparación de las cantidades las unidades de medida desaparecen y obtendremos la TC en porcentajes, con el cual se construirá y graficará en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

Después de hacer el análisis estadístico presentado en las tablas del 7 al 9, a continuación tomamos los resultados de los promedios de cada tabla y con esos datos construimos una nueva tabla, que vendría hacer la tabla 10.

Tabla 10. Promedio de los puntos 1, 2 y 3

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
P. pto 1	0.00113	0.00113	0.00327	0.00442	0.00365	0.00113	0.00113	0.00113	0.00113	0.00113
P. pto 2	0.0638	0.0638	0.5575	0.5575	0.5575	0.0638	0.0638	0.0721	0.0721	0.06061
P.pts 3	0.00612	0.00708	0.20321	0.20321	0.20321	0.00785	0.00785	0.00785	0.0064	0.00638

Fuente: Elaboración propia

Luego, estos promedios medidos, para su mejor comprensión graficamos estos datos y mostrando en las figuras del 31 al 33 se muestra el gráfico de como varían con el tiempo para cada punto.

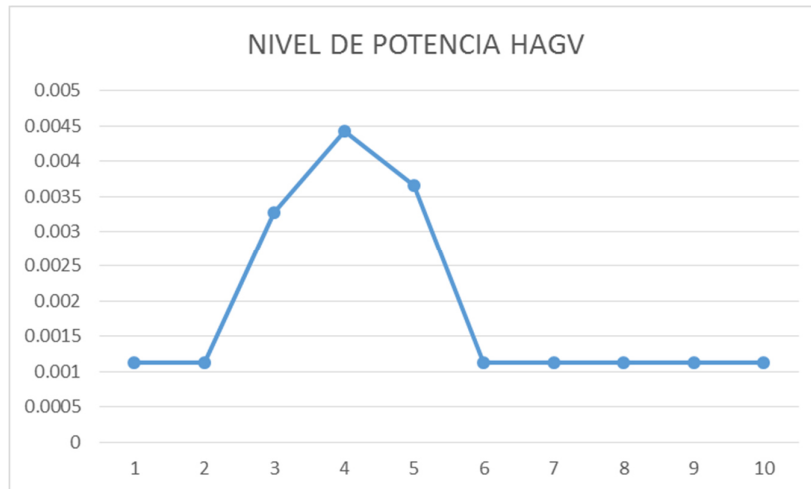


Figura 31. Características de la variación de potencia en el punto 1

Fuente: Elaboración propia

Grafica del comportamiento de radiación del punto 1, tomado de la tabal 10

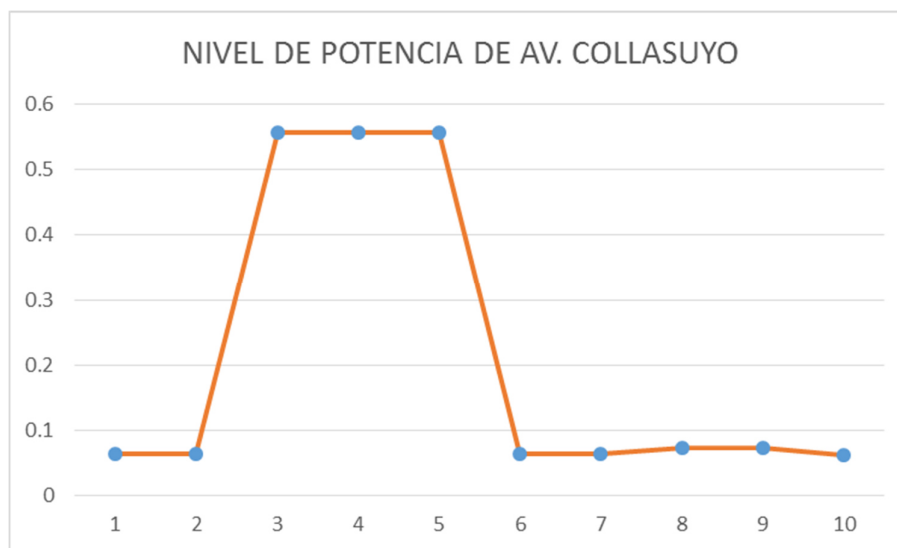


Figura 32. Características de la variación de potencia en el punto 2

Fuente: Elaboración propia

Grafica del comportamiento de radiación del punto 2, tomado de la tabal 10

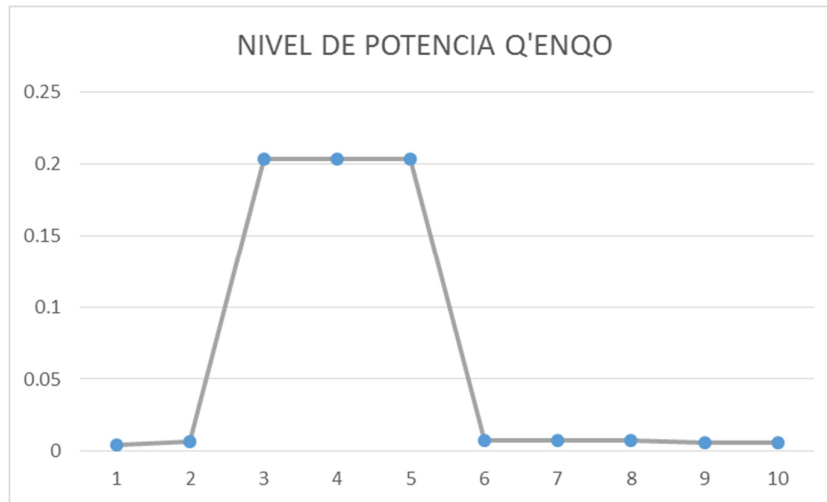


Figura 33. Características de la variación de potencia en el punto 3

Fuente: Elaboración propia

Grafica del comportamiento de radiación del punto 3, tomado de la tabal 10

Para comparar los datos antes graficados juntamos las tres graficas anteriores, tal como se muestra en la figura 34.

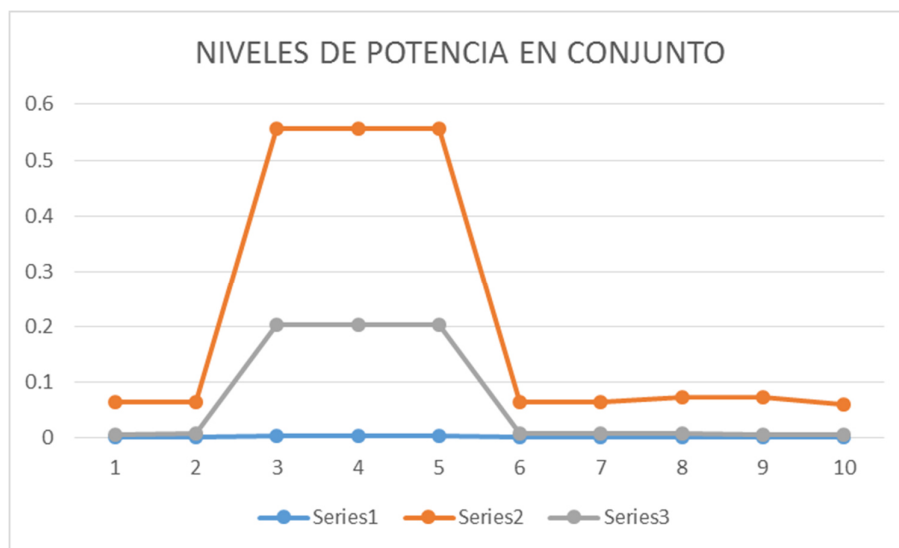


Figura 34. Características de la variación de potencia de los puntos 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

Grafica del comportamiento de radiación, tomado de la tabal 10

La figura 34, muestra el comportamiento de los niveles de potencia desde t1 hasta t2, es una señal en el cual el teléfono celular esta en reposo o sin recibir llamadas, del punto t3 a t5 es cuando el teléfono busca la llamada, buscando a que antena conectarse y finalmente del punto t6 a t10 es cuando el teléfono se conecta a la línea a la que se hizo la llamada.

En los tres casos el comportamiento es el mismo, el teléfono móvil celular emite más potencia al buscar la conexión, pero antes y después no emite potencia baja.

En el punto 2 (grafico naranja), representa la avenida collasuyo, aquí existe buena cobertura, pero el comportamiento es el mismo que los anteriores puntos. Por otra parte en el punto 3 en Q'enqo existe muy baja cobertura y el teléfono demora en conectarse, elevando su temperatura.

Para hacer un análisis, normalizando los datos para ello encontramos la tasa de crecimiento, obtenemos los siguientes resultados para cada punto:

Tabla 11. Tasa de crecimiento al hacer la búsqueda

PPR AL BUSCAR CONEXION	PPR CON CONEXIÓN	TASA DE CRECIMIENTO
0.0037792	0.0011275	235.18%
0.5575	0.066481	738.59%
0.20321	0.0072615	2698.46%

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la TC con los datos de la Tabla 10

Por lo visto anteriormente se puede apreciar que los en el punto 3, Q' enqo donde no hay mucha cobertura la tasa es 2698,46% al buscar la conexión que es mucho mayor que los anteriores puntos, donde hay buena cobertura, es decir que el teléfono usa mayor cantidad de potencia para buscar una antena y una vez que se establece la comunicación baja el nivel de radiación.

4.2. Contrastación de Hipótesis

Nuestra primera hipótesis específica fue: *“A mayor cantidad de antenas móviles la potencia de radiación presenta niveles bajos”*

Los resultados mostrados confirman la hipótesis planteada ya que existe una relación entre la potencia del celular y su cobertura, ya que al no existir antenas cerca el teléfono usa más potencia para comunicarse y caso contrario cuando el celular tiene antenas cerca es decir tienen buena cobertura el teléfono usa menos potencia para conectarse, tal como se vio en la tasa de crecimiento (Tabla 11).

Con respecto a la segunda hipótesis específica: *“Las radiaciones emitidas por las antenas son radiaciones no ionizantes y la potencia de radiación no supera los límites máximos permitidos para la salud”*.

En ninguno de los 3 puntos medidos, los niveles de potencia sobrepasan los límites máximos permitidos y los estándares ECA, estos están por muy debajo de las normas; se puede ver que la máxima potencia medida es 0,56% es decir no llega ni al 1% esto incluso sumando todas las señales incluidos los de TV, Radio y otras compañías celulares.

4.3. Discusión de Resultados

Con los resultados obtenidos podemos confirmar la hipótesis general: *“Mientras más antenas existan cerca del teléfono móvil esta emite menos potencia de radiación y está no excede los límites máximos permitidos para la salud”* ya que se experimentó y se hizo pruebas de campo.

Algo importante que mencionar es que el teléfono móvil al no presentar cobertura o muy baja cobertura, esta realiza la búsqueda a la antena más próxima pero al hacer esto se notó, que el teléfono móvil presenta un calentamiento y la energía de consumo también se incrementa, lo que produce al usuario molestias y el teléfono celular recibe un rápido descenso de energía en su batería.

Por otro lado el teléfono móvil al tener buena cobertura debido a la presencia de antenas esta no usa mucha potencia para conectarse y tampoco para buscar cobertura, y por ende no se calienta y la duración del teléfono celular presenta mayor duración de tiempo.

Con respecto a los efectos a la salud, todas las mediciones realizadas ya sea que haya buena cobertura o mala cobertura estos no alcanzas sobrepasar las normas nacionales e internacionales, están por muy debajo incluso menos del 1% de limite y de los estándares ECA dados por el ministerio del ambiente esto mostrado anteriormente en las tablas del 3 al 5, no obstante a pesar de esto los estudios continúan, ya que al ser relativamente nuevo las comunicaciones móviles e incluso con nuevas velocidades falta que transcurra un poco más de tiempo para realizar estudios específicos en las personas y los efectos de estos pequeños niveles de potencia. Al realizar las mediciones algunos ciudadanos del lugar se acercaron a

preguntar lo que se estaba haciendo, se aprovechó para preguntarles acerca de las antenas, la mayoría coincidió en que no les presentaba daño alguno más todo lo contrario quería que se instalasen más antenas para que tenga buena comunicación, sin embargo existió solo un par de personas que mencionaron que las antenas instaladas cerca les causaban daño en la cabeza ya que presentaban dolor y/o cansancio que antes no lo sentían.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

PRIMERO: Existe la relación siguiente que a menor cobertura que en lo general es cuando el celular no tiene una antena cerca el teléfono emite más radiación, y cuando tiene mejor cobertura el teléfono, se conecta más rápido y usa menos potencia de radiación y en ninguno de los dos casos supera los ECA.

SEGUNDO: La antena del teléfono celular móvil usa más potencia de radiación cuando no tiene buena señal para la conexión incluso el teléfono se calienta, pero cuando el celular tiene buena cobertura no usa mucha potencia y la conexión es rápida y de mejor calidad.

TERCERO: Los niveles de potencia emitidos por el celular están muy por debajo de las normas nacionales e internacionales, por otro lado no existen pruebas suficientes y concluyentes que indiquen que las RNI, con los niveles medidos, afecten a la salud de la población pero tampoco se puede asegurar que no haya efectos bajo largos periodos de exposición.

5.2. Recomendaciones

PRIMERO: Se recomienda trabajos futuros especializados, a nivel microbiológico, con instrumentación especializada y pruebas de campo.

SEGUNDO: En los tres casos se vio que el teléfono presenta su máxima potencia al buscar la conexión con la antena, por lo que se recomienda que al realizar la llamada, se haga en altavoz y una vez realizada la conexión ponerlo en modo normal (sin altavoz) y acercarlo al oído.

TERCERO: Por otra parte con respecto a la normas de las RNI vimos que existen normas para los límites de potencia, sin embargo estas normas y/o regulaciones son aplicables para el ser humano, por ello se están haciendo estudios para ver cómo estos afectan por ejemplo a las plantas, por lo que recomienda también hacer estudios en ese ámbito.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia. (2017). Academia.edu - Share research. Retrieved June 20, 2017, from <https://www.academia.edu/>
- Alonso, M., & Finn, E. (1999). *Física Volumen 2 - Campos y Ondas*. Buenos Aires: Fondo Educativo Interamericano.
- Alvarez Herrera, V. O. (2005). *Límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes para el sector telecomunicaciones peruano : una aproximación al nexo entre el derecho ambiental y el derecho de las telecomunicaciones*. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/786>
- ANA. Ley General del Ambiente (2005). Lima. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_n-28611.pdf
- Arbaiza Fermini, L. (2014). *Cómo Elaborar una Tesis de Grado* (Primera ed). Lima: ESAN EDICIONES.
- Areatecnologia. (2016). Temas de Tecnología | Tecnologías ESO. Retrieved June 20, 2017, from <http://www.areatecnologia.com/>
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design. Electronics and Power* (Tercera Ed, Vol. 28). <https://doi.org/10.1049/ep.1982.0113>
- Bautista, M. E. (2009). *Manual de Metodología de Investigación* (Tercera). Venezuela: TALITIP.
- Cardama Aznar, A., Jofre Roca, L., Rius Casals, J. M., Romeu Robert, J., Blanch Boris, S., & Ferrando Bataller, M. (2002). *Antenas*. UPC. Retrieved from <https://es.wikipedia.org/wiki/Antena>
- CID BADANI, I. G. (2015). *Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas*. UNIVERSIDAD DE CHILE. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137231>
- Comunicaciones, M. de T. y. (2012). Topes a la asignación del espectro radioeléctrico para prestar servicios públicos móviles. *El Peruano - Diario Oficial, R.M. N° 01*. Retrieved from https://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/regulacion/documentos/2012/RM_015_2012_MTC_03.pdf
- Cromer, A. H. (1996). *FISICA PARA CIENCIAS DE LA VIDA*. (E. REVERTÉ, Ed.) (SEGUNDA ED). Barcelona.
- Cruz, V. M. (2009). Riesgo para la Salud por Radiaciones No ionizantes de las Redes de Telecomunicaciones en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental Y Salud Publica*, 26(1), 94–103. Retrieved from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100017&lng=es&nrm=iso
- Cruz Ornetta, V. M. (2014). *Las Comunicaciones Móviles e Inalámbricas y la Salud*

(Primera). Lima: UNMSM.

Daniel, L. (2017). *Cell Phone Location Evidence for Legal Professionals: Understanding Cell Phone Location Evidence from the Warrant to the Courtroom*. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=qFkIDgAAQBAJ&pg=PA1&hl=es&source=gs_bstoc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false

El pulso electromagnetico PEM: QUE SON LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS. (n.d.). Retrieved June 12, 2017, from <http://pulsopem.blogspot.pe/2014/03/que-son-las-ondas-electromagneticas.html#more>

Gallego Serna, L. M., Torres Osoyo, J. I., & Castañeda Salazar, J. A. (2014). Análisis dimensional del riesgo percibido por la exposición del público a radiaciones electromagnéticas emitidas por estaciones base de telefonía móvil. *Luna Azul*, (39), 105–123. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742014000200007&lng=en&nrm=iso

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación. Metodología de la investigación* (Quinta). McGraw Hill. <https://doi.org/>- ISBN 978-92-75-32913-9

ICNIRP. (n.d.-a). ICNIRP INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION | Mobile Phones. Retrieved March 26, 2017, from <http://www.icnirp.org/en/applications/mobile-phones/index.html>

ICNIRP. (n.d.-b). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Retrieved November 1, 2017, from <http://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html>

ICNIRP. (1999). GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz). *ICNIRP*. Retrieved from <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

IEEE. (2006). *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991)* (Vol. 2005). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2006.99501>

INICTEL. (2017). Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones - INICTEL-UNI. Retrieved November 19, 2017, from <http://www.inictel-uni.edu.pe/institucional/historia>

Kitchen, R. (2001). *RF and Microwave Radiation Safety Handbook* (Segunda Ed).

Leal, M. H., Abellán, J. A., & Casas, M. P. (2005). Telefonía móvil. ¿Una apuesta con nuestra salud? *Atención Primaria*, 35(8), 415–418. <https://doi.org/10.1157/13074798>

Lumbreras. (2016). *Física una vision analítica del movimiento.pdf*. (E. Lumbreras, Ed.) (Segunda ed). Lima.

- MINAM. Resolución Ministerial N° 082-2016-MINAM (2016). Lima.
- MINAM. (2017). Dirección General de Calidad Ambiental - MINAM. Retrieved November 19, 2017, from <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/>
- Ministerio de transporte y Comunicación. (2012). Asignación de espectro por empresas. Retrieved October 30, 2017, from <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/registros/rnf/publicos.html>
- MTC. (2017a). Más antenas, Mejor comunicación. Retrieved November 7, 2017, from <http://masantenasperu.com/>
- MTC. (2017b). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Retrieved November 19, 2017, from <http://www.mtc.gob.pe/nosotros/index.html>
- OMS. (2014). OMS | Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles. *WHO- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD*. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>
- OSIPTEL. (2017a). Líneas en servicio por departamento - OSIPTEL. Retrieved September 22, 2017, from <https://www.osiptel.gob.pe/articulo/21-lineas-en-servicio-por-departamento>
- OSIPTEL. (2017b). Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. Retrieved November 19, 2017, from <https://www.osiptel.gob.pe/categoria/quienessomos>
- OSIPTEL. (2017c). TUO del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones - OSIPTEL. Retrieved November 19, 2017, from <https://www.osiptel.gob.pe/articulo/tuo-reglamento-general-ley-de-telecomunicaciones>
- PERUANO, E. (2005, February 28). ____ R. M. N° 120-2005-MTC 03.pdf. *NORMAS LEGALES*, p. 288112. Lima.
- PIAT, R., & BRAULT, R. (1998). *Las Antenas* (TERCERA ED). PARANINFO.
- Sears, F., Freedman, R., Young, H., & Zemansky, M. (2004). *Física Universitaria Volumen 2*. (PEARSON, Ed.).
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna* (SÉPTIMA ED). Retrieved from <http://latinoamerica.cengage.com>
- Tema 2: Parámetros básicos de radiación 2.1. (1983), 25–63.
- Terzi, M., Ozberk, B., Deniz, O. G., & Kaplan, S. (2016). The role of electromagnetic fields in neurological disorders. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, *75*, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2016.04.003>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (CUARTA). Mexico: Prentice Hall.

Vargas Marcos, F., & Crespo Del Arco, P. (2009). Telefonía móvil: ¿representa algún riesgo para la salud? *Medicina Clinica*, 132(14), 551–554.
<https://doi.org/10.1016/j.medcli.2008.09.028>

Wangness, R. (2006). *Campos Electromagnéticos-*. Mexico: Limusa.