



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE EDUCACIÓN VIRTUAL Y DISTANCIA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

**RADIACIÓN CON POLARIZACIÓN CIRCULAR COMO MÉTODO PARA  
MINIMIZAR LA EXPOSICIÓN DEL USUARIO DE CELULARES A LOS CAMPOS  
ELECTROMAGNÉTICOS DE SU EQUIPO**

HERBERT BOTERO BOTERO

Trabajo exigido como requisito para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos

MARCELO TORRES ARANGO  
Asesor

BELLO – ANTIOQUIA  
2014

**Nota de aceptación**

---

---

---

Jurado 1

---

---

---

Jurado 2

---

---

---

Jurado 3

## AGRADECIMIENTOS

Quiero por este medio agradecer a todas las personas e instituciones que hicieron posible mi sueño de realizar la especialización en Gerencia de Proyectos.

A la institución UNIMINUTO y a su personal administrativo, por facilitar todo lo concerniente a mis limitaciones de movilidad.

Al profesorado por el apoyo incondicional a mi labor de estudiante y a las continuas y múltiples manifestaciones de aliento.

A todo el grupo de compañeros, que siempre estuvieron atentos a facilitar mi estadía en las aulas.

Agradezco muy especialmente al grupo de trabajo de clase, que siempre se acomodó a mis necesidades, ellos son: Magdalena Cuervo, Yolimar Cubides, Alexander Florez y Sulman Castaño Muriel.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi esposa Alma Stella y a mis hijos Angela Patricia y Carlos Mauricio, de quienes recibí el apoyo necesario para llevar a feliz término esta nueva etapa universitaria.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1 Descripción del problema .....	12
1.2 Formulación del problema .....	13
1.3 Pregunta.....	14
1.4 Viabilidad y alcance de la Monografía .....	14
1.5 Propuestas halladas .....	17
2. OBJETIVOS .....	19
2.1 Objetivos Generales .....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. JUSTIFICACIÓN .....	21
4. MARCO TEÓRICO.....	23
4.1 Revisión de la literatura .....	23
4.2 Antecedentes .....	23
4.3 Fuentes de información.....	24
4.3.1 Acciones y Fuentes Gubernamentales.....	25
4.3.2 Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.....	28
4.3.3 Beneficios de la Polarización Circular en Servicios Móviles. ....	30
4.3.4 Otros enfoques.....	31
4.3.5 Dispositivos Anti Radiación.....	32
4.3.6 Aplicaciones para Celulares. ....	33
4.3.7 Principales fuentes de consulta sobre celulares y salud. ....	34
4.3.8 Antenas de Polarización Circular en el propio móvil.....	34
4.3.9 Antenas de Polarización Circular en la Base de la Celda.....	35
4.4 Desarrollo de una perspectiva teórica o de referencia.....	36

4.4.1	Buscando respuestas en las teorías existentes. ....	36
4.5	Definiciones .....	38
4.5.1	Antena y sus características principales. ....	38
4.5.2	Diagrama de Radiación. ....	39
4.5.3	Directividad. ....	39
4.5.4	Ganancia. ....	40
4.5.5	Eficiencia. ....	40
4.5.6	Impedancia de Entrada. ....	40
4.5.7	Apertura del Haz.....	40
4.5.8	Relación Adelante/Atrás.....	40
4.5.9	Resistencia de Radiación. ....	41
4.5.10	Pire.....	41
4.5.11	Polarización de una Señal Electromagnética Radiada.....	41
4.5.12	Tipos de Polarización, ventajas y desventajas, campo de aplicación.....	43
4.5.13	Homologación de Celulares. ....	44
4.5.14	Cómo funciona una Red de Teléfonos Celulares .....	45
4.5.15	Manejo de Potencia de la Red Celular. ....	45
5.	METODOLOGÍA .....	47
5.1	Diseño Metodológico .....	47
5.2	Enfoque Cuantitativo .....	47
5.3	Tipo de Investigación y Alcance.....	48
5.4	Establecer la Hipótesis .....	49
5.5	Diseño de la Investigación .....	49
5.6	Selección de la Muestra .....	50
5.7	Recolección de Datos Cuantitativos.....	52
6.	RESULTADOS.....	54
6.1	Análisis de la solución propuesta .....	54
6.2	Dónde aplicar la solución.....	56
6.3	Optimización del recurso escaso .....	57
6.4	El Tamaño de la Celda .....	59

7. CONCLUSIONES .....	63
8. RECOMENDACIONES .....	65
8.1 Hipótesis para futuras investigaciones .....	65
8.2 Otras Recomendaciones .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	68
ANEXOS .....	71

**LISTA DE FIGURAS**

	Pág.
Figura 1. Polarización lineal y circular .....	42
Figura 2. Polarización elíptica .....	42

**LISTA DE TABLAS**

Pág.

Tabla 1. Límites de máximo de exposición para equipos .....	28
---	----

## INTRODUCCIÓN

Millones de seres humanos hoy viven inmersos en múltiples y variados campos electromagnéticos generados por fuentes naturales y/o artificiales, entre ellos los equipos eléctricos, electrónicos y especialmente los de comunicación, como el teléfono celular que manipulan diariamente.

El uso intensivo de los celulares despierta inquietudes e interrogantes para los usuarios de estos equipos, sobre todo pensando en los efectos para su salud a largo y corto plazo.

En esta monografía se propone un sistema de propagación que logra disminuir la intensidad del campo electromagnético a la que queda expuesta la persona que utiliza este medio de comunicación, imprescindible en la vida moderna.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Parafraseando el libro “Metodología de la Investigación” (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2006, pág. 46), el planteamiento del problema cuantitativo consiste en delimitar y estructurar más formalmente la idea, cumpliendo los siguientes criterios:

- El problema debe expresar una relación entre dos o más conceptos o variables
- El problema debe estar formulado como pregunta
- El planteamiento debe implicar la posibilidad de realizar una prueba empírica.

En esta parte de la monografía se describe el problema, de acuerdo a estos criterios expuestos por Sampieri.

El problema se planteó debido a la intensidad del campo electromagnético que se produce alrededor del teléfono celular cuando establece una llamada; dada la cercanía del equipo al cuerpo del usuario, se alcanzan niveles de exposición que son directamente proporcionales a la potencia con que transmite el teléfono.

Futuros estudios pueden comprobar la solución sugerida en esta monografía, mediante pruebas empíricas que demuestren la reducción efectiva de la potencia transmitida por el celular como consecuencia directa del uso de antenas con polarización circular, lo que trae como resultado una disminución efectiva de exposición a los campos electromagnéticos proveniente de los celulares.

## 1.1 Descripción del problema

Las recientes modificación de las condiciones de exposición de los Colombianos a campos electromagnéticos en el ambiente, debido a la novedosa implantación de las redes de celulares en el país, condujo a que el Gobierno Nacional a través de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, valorara los aspectos asociados a la radiación producida por emisores intencionales de radiación o antenas de telecomunicaciones, y contratara un estudio con la Pontificia Universidad Javeriana cuyo resultado fue el documento "Estudio de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno". Dicho estudio recomendó la adopción de los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, ICNIRP, ente reconocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, OMS. (MinTIC, Página del Ministerio de Comunicaciones, 2005)

La misma norma aclara que se quiere

...establecer lineamientos que permitan adoptar límites de seguridad en la exposición a campos electromagnéticos, a la vez de fijar estándares para asegurar la conformidad de las emisiones a estos límites y ajustar lineamientos en los procedimientos de instalación de infraestructura de telecomunicaciones en beneficio de la ciudadanía en general.

La creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población, ha generado la necesidad de construir un elevado número de instalaciones radioeléctricas, con el fin

de ampliar los niveles de calidad y cobertura de los servicios de celulares y garantizar el acceso de los mismos a todas las personas, actividad que genera emisión de ondas electromagnéticas, que podrían llegar a ser dañinas para los seres humanos.

La norma declara a los celulares como fuentes inherentemente conformes, y por lo tanto estos equipos no están sujetos a la regulación de los niveles de exposición que emiten.

## **1.2 Formulación del problema**

Cuando se establece una comunicación telefónica por medio de equipos celulares y debido a la cercanía del aparato al cuerpo del usuario (en especial a su cabeza), la antena del equipo genera una señal electromagnética, que por su cercanía a las neuronas del cerebro, se sospecha pueden afectarlas.

Se propuso entonces un sistema de propagación eficiente que tiene como consecuencia minimizar la energía absorbida por el cuerpo humano, ya que aún hoy, los efectos de esta radiación no son del todo conocidos.

En la actualidad los operadores de redes celulares en Colombia no usan la polarización circular en las antenas que comunican con los equipos de los usuarios, lo cual como se verá, trae consecuencias negativas en la operación de la red y en la potencia de transmisión del móvil.

Esta monografía explica cómo las bondades de la polarización circular, y su efecto en la forma como opera la red del proveedor del servicio, efectivamente minimiza la exposición del cuerpo humano a los campos electromagnéticos producidos por estos equipos.

### **1.3 Pregunta**

Las preguntas deben ser claras y responden “El ¿qué?” del trabajo, por lo que planteamos la siguiente:

¿Cómo disminuir la exposición de los usuarios a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos celulares al momento de ser operados, y así minimizar los problemas de salud pública que puedan derivarse de su uso?

### **1.4 Viabilidad y alcance de la Monografía**

Analizar la viabilidad implica preguntarse sobre: La disponibilidad de recursos, el alcance y sus consecuencias.

Este trabajo da una explicación de por qué la polarización circular trae los beneficios propuestos, pero escapa al alcance de esta la demostración práctica del fenómeno, por varios motivos:

- Para demostrar experimentalmente los resultados se requiere tener acceso a una red de celulares o a una simulación de la misma, de la cual no se dispone.
- Se requiere implementar en una misma torre un sistema radiante con la polarización vertical actual y otro con la polarización circular propuesta, para realizar medidas de señal comparativas y extraer conclusiones.
- Se requiere equipos especiales de monitoreo de canales de celular, que solo los operadores de red poseen.

Por los motivos expuestos, la monografía presenta las ventajas de la polarización circular en este caso específico, y pretende llamar la atención de los ingenieros encargados de tomar decisiones dentro de los operadores de red, mostrando las ventajas tanto para los usuarios como para los mismos operadores.

Queda también a ellos estudiar el costo/beneficio del cambio de polarización propuesto, para que alienten a sus empresas a realizar las modificaciones requeridas en su infraestructura.

Analizar las consecuencias del trabajo es preguntarnos sobre las deficiencias en el conocimiento del problema, el estado actual del conocimiento y las nuevas perspectivas a estudiar.

Es posible que este trabajo llame la atención del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia, para que decida emprender la tarea de corroborar mediante pruebas de campo los efectos planteados y de acuerdo a sus resultados ordene implementar estas u otras acciones que mitiguen la exposición de los usuarios de celulares en Colombia.

No se espera consecuencias negativas derivadas de lo propuesto en esta monografía; todos los efectos previsibles hasta el momento son positivos, tanto para los usuarios como para los operadores de red, lo que genera mayor confianza en que la propuesta será implementada.

Aunque la polarización circular es un fenómeno conocido de tiempo atrás y mencionado en la mayoría de los libros de antenas, sus efectos prácticos parece no ser bien comprendidos por la mayoría del personal que manejan el tema de comunicaciones.

El hecho de que a la fecha este tipo de propagación no haya sido implementado en las redes celulares en el país, hace suponer el desconocimiento del tema, ya que en la actualidad está disponible en el mercado este tipo de antenas y aun así no son usadas.

El desconocimiento del tema es tal, que aun en foros especializados en electrónica donde se ha planteado el tema de la polarización circular en celulares, se encuentran respuestas bastante extrañas como la que afirma que “nunca (la comunicación) será tan buena como la que se hace con polarización vertical en ambas antenas”, para mayor información se puede consultar en el foro de edaboard.com (WUSEN, 2004).

## 1.5 Propuestas halladas

Existen muchos interrogantes ante el problema de los efectos de los celulares en los seres humanos, que a la fecha no están resuelto por diferentes motivos:

- La tecnología es tan reciente y ha evolucionado tanto en el uso de diferentes espectros de frecuencia, que no se tiene estudios concluyentes, debido a los pocos años de exposición de los seres humanos a sus efectos.
- Tampoco existe un marcado interés de algunos conglomerados económicos por señalar los efectos subyacentes al uso de sus servicios, dado el impacto económico que traería para ellos.
- Aunque se descubriera y demostrara que la tecnología de los celulares efectivamente si tuviera impacto negativo en la salud de sus usuarios, difícilmente se puede renunciar a su uso, seguramente solo se implementarían medidas que mitigaran el daño, como ocurre con muchos otros avances tecnológicos.

Para resolver el problema de exposición del usuario a campos electromagnéticos, se ha propuesto soluciones de todo tipo, desde apagarlos, hasta usar un arreglo circular de antenas dentro de los celulares. (Vasilis Christofilakis, 2014),

En el mercado se ofrece recubrimientos especiales para los equipos sin que se conozca cómo se afecta la comunicación, incluyendo el uso de “misteriosas” calcomanías que absorben

energía, con cuestionables resultados; para mayor información se puede leer la página Web de Radiansa Consulting (Radiansa Consulting).

De todas formas los avances tecnológicos en comunicaciones plantean a la comunidad científica, el reto de desarrollar acciones prácticas y viables que resuelvan el problema expuesto.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Generales

El objetivo general de esta Monografía es proponer una metodología para disminuir los niveles de exposición a los campos electromagnéticos emitidos por los teléfonos móviles de los usuarios de celulares, en Colombia.

### 2.2 Objetivos Específicos

Un objetivo específico de esta monografía es proponer *a los operadores* de redes celulares el uso de antenas con polarización circular en los equipos bases de la celda.

Se quiere que los ingenieros encargados del diseño de las celdas en las redes de celulares entiendan las bondades de la polarización circular, para que sea adoptada como norma en las antenas bases y se logre el objetivo general propuesto, porque implementando la polarización circular en las antenas bases, se disminuye efectivamente la potencia de la señal transmitida por el celular.

El objetivo último de este trabajo es mostrar que ya se tiene a la mano, tecnologías que permiten disminuir el nivel de exposición a campos electromagnéticos, por debajo de los niveles a los que actualmente se ven expuestos los usuarios de celulares en el país.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Justificar la propuesta es: “El ¿Por qué?” y el “¿Para qué?” de las monografía.

En mayo de 2011, los campos electromagnéticos de radiofrecuencia fueron clasificados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el grupo 2B, como potencialmente carcinogénicos para los humanos, según se informa en el documento “Comunicaciones móviles y salud” (GSM Association, 2012).

Muchos padres de familia se preocupan por los riesgos de salud en sus hijos, al estar expuestos desde temprana edad a los campos electromagnéticos, debido al uso frecuente y prolongado de equipos celulares y/o por la cercanía de estaciones bases a los colegios; en este sentido la reglamentación actual en Colombia prohíbe la instalación de estaciones base en cercanía de colegios, hospitales, y ancianatos, lo que evidencia la preocupación de los legisladores y de la ciudadanía en general, sobre estos temas.

El trabajo es conveniente porque en él se propone un método para disminuir la cantidad de exposición del cuerpo humano a campos electromagnéticos, que irremediablemente sufren millones de personas en Colombia y de los cuales no se conoce aún sus consecuencias (Assis, 2014).

El estado actual del arte (por lo novedoso de la tecnología celular) no permite cuantificar a largo plazo sus consecuencias; por lo tanto al minimizar su exposición, se está maximizando la

expectativa de vida del usuario, que de otra forma podría verse reducida por la exposición a los campos electromagnéticos.

Con este trabajo se aporta al benéfico de la institución y la facultad, ajustándose a varios de los aspectos que forman la misión de la Universidad Uniminuto, como son “el servir de apoyo al desarrollo académico e investigativo de sus alumnos, y que a su vez permitan el crecimiento y fortalecimiento de la comunidad académica” (Uniminuto, s/f).

La motivación para presentar el tema de esta monografía son el poder trabajar en beneficio de la salud poblacional del mundo, aportando a la sociedad y al país, desde el conocimientos profundo del tema de las antenas, y más aún, desde la responsabilidad socio ambiental, que hacen parte de todo Especialista en Gerencia de Proyectos.

El análisis de las ventajas de la polarización circular en la propagación de las ondas electromagnéticas, son un aporte al conocimiento y comprensión de las bondades que este tipo de transmisión conlleva, aplicados en diferentes ámbitos de la ciencia y la tecnología, y muchas veces desconocidos aún para ingenieros que trabajan en el tema de comunicaciones y más específicamente en el área de la propagación.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Revisión de la literatura**

Existen múltiples investigaciones para detectar los posibles riesgos para la salud, como consecuencia de la exposición a muchos tipos de onda de radio; la preocupación es tal, que a la fecha (diciembre de 2014) solo en la página [www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de) existe una base de datos con 20.406 publicaciones y 4.175 estudios de científicos independientes, que analizan los efectos de los campos electromagnéticos.

No se menciona ninguna investigación en particular, porque no es el objetivo de este trabajo el demostrar los efectos de los campos electromagnéticos en los seres vivos y en especial en los humanos.

### **4.2 Antecedentes**

El interés del autor de esta monografía, en el tema de la polarización circular en antenas transmisoras comienza en los años 70s, cuando debido a la vinculación con la radio y para optar por el título de Ingeniero Electrónico, decide realizar la tesis de grado sobre como instalar la primera emisora de FM en estéreo que operó en Medellín, y la segunda en todo el país.

En ese trabajo se analizaron las antenas más adecuadas para FM y fue el primer acercamiento a las características y bondades de la polarización circular, la cual resuelve el problema que se presenta cuando no se tiene control sobre la polarización de uno de los extremos de un circuito de radio, y en este caso en particular en la recepción del usuario.

Al comienzo de la década de los 90s se fundó la empresa Antenas de Colombia ANTECOL Ltda, como primera empresa en Colombia dedicada a la fabricación de antenas de transmisión con polarización circular, para radio y TV.

Para lograr este objetivo se requirió el estudio profundo y detallado de cómo lograr esta polarización y de sus cualidades de propagación, como condición indispensable para conseguir una efectiva comercialización de las antenas.

A través de la lectura de varios artículos de radio que tratan del tema, encontrados en sus 40 años de experiencia en antenas y basado en la comprensión del fenómeno de la polarización circular, llegó a la conclusión de que sus características y bondades son aplicables a las redes de celulares.

### **4.3 Fuentes de información**

El siguiente es el listado de los libros de antenas que se han consultado:

- ANTENNAS de John D. Kraus, capítulo II

- ANTENNAS ENGINEERING HANDBOOK de Henry Jasik, capítulo XXVIII
- NAB Engineering Handbook 6th edition pág. 342 y 1014
- ANTENNA HANDBOOK Vol. 1, S. W. Lee
- ANTENNA THEORY de Constantine A. Balanis, capítulo II

#### **4.3.1 Acciones y Fuentes Gubernamentales.**

El gobierno de Colombia, en su decreto 195 de 2005, hace las siguientes consideraciones (Presidencia de la República de Colombia, 2005):

En el marco de los derechos colectivos y del ambiente, se encuentra el señalado en los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, en virtud del cual, todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.

Conforme a lo dispuesto en el artículo 149 de la Ley 09 de 1979, "todas las formas de energía radiante, distintas de las radiaciones ionizantes que se originen en lugares de trabajo, deberán someterse a procedimientos de control para evitar niveles de exposición nocivos para la salud o deficiencia de los trabajadores".

En virtud del artículo 56 del Decreto-ley 1295 de 1994, le corresponde al Gobierno Nacional expedir las normas reglamentarias técnicas, tendientes a garantizar la seguridad de los trabajadores y de la población en general, en la prevención de accidentes de trabajo y enfermedad profesional y ejercer la vigilancia y control de todas las actividades para la prevención de los riesgos profesionales.

El artículo 19 del Decreto-ley 1900 de 1990 dispone que las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, la adopción por parte del Gobierno de medidas tendientes a establecer su correcto y racional uso.

El numeral 6 del artículo 1° de la Ley 99 de 1993, a través del cual se establecen los principios generales ambientales bajo los cuales se rige la política ambiental en el país, se consagra el principio de precaución, de acuerdo con el cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, **la falta de certeza científica absoluta no podrá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente** (resaltado fuera de texto).

Conforme al artículo 2° de la Ley 99 de 1993, corresponde al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como ente rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible. (MinTIC, Página del Ministerio de Comunicaciones, 2005).

También indica el decreto 195 que. “Que conforme al artículo 1° del Decreto-ley 216 de 2003, por el cual se determinaron los objetivos, la estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se dispuso que tendrá como objetivos primordiales contribuir y promover el desarrollo sostenible a través de la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación en materia ambiental, recursos naturales renovables, uso del suelo, ordenamiento territorial, agua potable y saneamiento básico y ambiental, desarrollo territorial y urbano, así como en materia habitacional integral.

La Ley 252 de 1995 aprobó la inclusión en el ordenamiento jurídico Colombiano los Tratados de la "Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Protocolo Facultativo sobre la solución obligatoria de controversias relacionadas con la constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y los Reglamentos Administrativos", adoptados en Ginebra el 22 de diciembre de 1992.

El artículo 12 del Decreto-ley 1900 de 1990 establece que en la reglamentación sobre redes y servicios de telecomunicaciones, se tendrán en cuenta las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, de conformidad con los Convenios, Acuerdos o Tratados celebrados por el Gobierno y aprobados por el Congreso.

Que con base en lo anterior, el Gobierno Nacional, para propender por la conservación e integridad del ambiente sano y el manejo racional y correcto del espectro electromagnético para los ciudadanos, en ejercicio de las atribuciones conferidas por el artículo 19 del decreto-ley 1900 de 1990” (MinTIC, Página del Ministerio de Comunicaciones, 2005) decretó las normas y límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas.

A continuación se muestra la tabla de límites máximo de exposición para equipos que no son inherentemente conformes:

Tabla 1. Límites de máximo de exposición para equipos

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocupacional</b>	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 - 2.000 MHz	3 f <sup>1/2</sup>	0,008 f <sup>1/2</sup>	f/40
	2 - 300 GHz	137	0.36	50
<b>Público en general</b>	9 - 150 KHz	87	5	-</o:p>
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	87/f <sup>1/2</sup>	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	1,375 f <sup>1/2</sup>	0,0037 f <sup>1/2</sup>	f/ 200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

NOTA 1. f es la indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2. El caso bajo análisis ocupa la banda entre 2 y 300 GHz

Fuente: Decreto Presidencial 195 de 2005

#### 4.3.2 Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.

“**Definición de fuente inherentemente conforme:** Son aquellas que producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes, a pocos centímetros de la fuente, para las cuales no son necesarias precauciones particulares. El criterio para la fuente inherentemente conforme es una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) de 2W o menos, salvo para antenas de microondas de apertura pequeña y baja ganancia, o antenas de ondas milimétricas; cuando la potencia de radiación total es de 100 mW o menos, podrá ser considerada como inherentemente conforme.” (MinTIC, Página del Ministerio de Comunicaciones, 2005).

La potencia con que transmiten los equipos celulares de la tecnología GSM tendrán “potencias máximas de 1 vatio (1W) y operaran típicamente con 0.125 W a 0.25W” según (Población, s/f) y por lo tanto son clasificados como inherentemente conformes.

El impacto del campo electromagnético radiado por los celulares aunque a la fecha es indeterminado, se sabe que “en 1993 una demanda judicial en EE.UU., que atribuyó un tumor cerebral en una mujer al uso de telefonía móvil (TM), inauguró una prolongada controversia sobre los riesgos para la salud que representan estos dispositivos. Actualmente un cuarto de la población mundial es usuaria de TM”.

En nuestro país, existen cerca de 20 millones de teléfonos celulares, es decir, uno cada dos habitantes. Aunque la gente anhela que la pregunta, "¿son seguros los celulares?" sea respondida "sí" o "no", tales respuestas serían irresponsables en el estado actual del conocimiento. (Saraví, s/f).

Tenga en cuenta que el dato de 20 millones de teléfonos celulares es para la Argentina al momento de escribirse el artículo del Dr. Saraví; en la actualidad son 32.5 millones de usuarios para ese país y en Colombia son 50.3 millones de usuarios a finales de 2013, según las cifras del cuarto trimestre de 2013, contenidas en el Boletín Trimestral de las TIC (MinTIC, Boletín Trimestral de las TIC, 2014).

El artículo del Dr. Saraví, mostró la preocupación que generan las nuevas tecnologías de comunicación en los seres humanos.

Este es un potencial problema de salud pública sin precedentes, derivado de los temores resultantes del uso de las nuevas tecnologías de comunicación, que solo hace 30 años se iniciaron

y por lo tanto a la fecha, no se tienen fuentes estadísticas suficientes para obtener información concluyente.

De acuerdo a lo anterior y a la afirmación del decreto 195 de 2005 en el sentido de que: **“la falta de certeza científica absoluta no podrá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”** (MinTIC, Página del Ministerio de Comunicaciones, 2005). La situación lleva a proponer medidas de mitigación, a la exposición que producen los teléfonos celulares actuales.

Según la revista cronista.com, la cantidad de suscripciones de celular en el mundo hoy, es del orden de 7.000 millones, que corresponden al 96% de la población mundial, de allí la importancia de tomar medidas al respecto, aun antes de que se detecten o identifiquen afectaciones concretas en los usuarios (Assis, 2014)

#### **4.3.3 Beneficios de la Polarización Circular en Servicios Móviles.**

Existe una interesante investigación realizada por Jhon L. Schadler, Director del Departamento de Desarrollo de Antenas de la empresa Dielectric L.L.C. (en Raymond, ME) sobre los beneficios de la Polarización Circular en Servicios Móviles (*Benifits of Circular Polarization for Mobile Services*).

Aunque el autor enfoca sus beneficios al servicio móvil de TV, no dejan de ser aplicables al servicio de telefonía celular, porque los celulares son en esencia un servicio móvil que comparte algunas partes de este espectro de frecuencia.

Esta investigación podría ser tomada como referente metodológico para futuros trabajos que quieran comprobar contextualmente lo planteado en esta monografía.

El trabajo del Dr. Schadler concluye que la transmisión con Polarización Circular (CP) hacia una antena móvil de polarización lineal, provee un Margen de Mejora (Margin Improvement) entre 5 y 7 dB (Schadler, s/f).

La propuesta de este trabajo se basa en un esquema idéntico al estudiado por Schadler y por lo tanto la mejora entre 5 y 7 dB debería presentarse en los equipos móviles celulares, y se sumaría a la solución propuesta por esta monografía.

#### **4.3.4 Otros enfoques.**

Existen otros enfoques a la solución como los dados por el periódico El Comercio:

<http://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/toma-nota-como-reducir-exposicion-radiacion-celulares-noticia-766898> donde recomiendan diez (10) estrategias para disminuir el efecto de los celulares en los seres humanos:

1. Alejar a los niños de los celulares.
2. Utilizar cuando sea posible un auricular Bluetooth para mantener el celular alejado del cuerpo.
3. Evitar usar celulares en lugares cerrados.
4. No lleve el celular apagado cerca al cuerpo ni lo deje cerca de la almohada o en la mesa de noche mientras duerme.

5. Si tiene que llevar el celular pegado al cuerpo, que el teclado apunte al cuerpo.
6. Hable solo por pocos minutos.
7. Alterne cada cierto tiempo de oreja.
8. Evite utilizar el celular cuando haya poca recepción.
9. Use más mensajes de texto.
10. Escoja el equipo con el SAR más bajo posible.

Como pueden ver existen propuestas verdaderamente irrisorias como la N° 4 donde recomiendan NO llevar el celular APAGADO.....

Consejos similares son dados en muchas páginas de internet, para una mayor consulta dirigirse a:

<http://salud.comohacerpara.com/n7105/como-reducir-la-radiacion-del-telefono-movil.html>

#### **4.3.5 Dispositivos Anti Radiación.**

ASOMOVIL en su portal web (<http://www.asomovil.org/>) Bajo el título: Temas de Interés – Antenas – Campos electromagnéticos, presenta un documento realizado por GSM Association en enero de 2012 ([www.gsma.com/health](http://www.gsma.com/health)) llamado “Comunicaciones móviles y salud”, donde plantea varios interrogantes sobre tópicos concernientes con los celulares y la salud.

El documento en mención, pone en duda la efectividad de los dispositivos anti radiación y explica por qué no son útiles, pudiendo llegar a ser contraproducentes, también explica algunos

fundamentos de las redes celulares, las preguntas más frecuentes sobre el tema y algunos mitos urbanos.

Laura Johannes publica en el Wall Street Journal un artículo titulado: ¿Funcionan los dispositivos para reducir la radiación de los teléfonos celulares ¿

En su artículo la autora explora el tema y describe varios dispositivos para disminuir la radiación, y trae la siguiente preocupante afirmación:

“La Comisión Federal de Comercio de EE.UU., que ha adoptado medidas contra por lo menos dos empresas que venden este tipo de aparatos, advirtió a los consumidores de que no hay “ninguna prueba científica” sobre los aparatos”. (Johannes, 2013)

Lo anterior muestra la responsabilidad que se debe tener al momento de plantear soluciones, porque este tipo de engaños puede afectar la salud de millones de personas.

#### **4.3.6 Aplicaciones para Celulares.**

La empresa Tawkon tiene una aplicación (gratuita para celulares Android) que mide la radiación del celular y alerta al usuario para que los corrija con los métodos que ellos sugieren; detalles de cómo funciona y la posibilidad de descargarla se encuentran en: <http://www.textually.org/textually/archives/2012/04/030618.htm> <http://tawkon.com/>

Curiosamente Steve Jobs fundador y gerente de la empresa Apple fabricante de los teléfonos celulares iPhone, no consideró “interesante” incluir esta aplicación en sus equipos, lo

que muestra el talante de algunos fabricantes; este es el motivo por el cual la aplicación solo se consigue para celulares bajo sistema operacional Android.

Detalles de esta actitud pueden ser ampliados en el siguiente link:

<http://androidayuda.com/2012/04/29/tawkon-una-app-contra-las-radiaciones-del-movil-que-no-quiso-apple/>

#### **4.3.7 Principales fuentes de consulta sobre celulares y salud.**

Para una más amplia información, a continuación se resumen algunas fuentes de consulta sobre los celulares y sus efectos en la salud:

- Organización Mundial de la Salud (OMS) [www.who.int/emf](http://www.who.int/emf)
- Portal de salud de la Comisión Europea [ec.europa.eu/health-eu](http://ec.europa.eu/health-eu)
- Comisión de Comunicaciones Federal de EE.UU [www.fcc.gov](http://www.fcc.gov)
- U.K. Health Protection Agency [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk)
- Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante [www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)

#### **4.3.8 Antenas de Polarización Circular en el propio móvil.**

La solución de usar antenas con polarización circular puede ser implementada en cualquiera de los dos extremos del enlace; existen soluciones para implementarlas dentro de los teléfonos celulares, como lo explica el proyecto final escrito por Arfel J. Hernandez llamado “915 Mhz CIRCULAR POLARIZED PATCH ANTENNA” que puede consultarse en:

[http://www.engr.sjsu.edu/rkwok/projects/CP\\_antenna\\_Arfel.pdf](http://www.engr.sjsu.edu/rkwok/projects/CP_antenna_Arfel.pdf)

Este tipo de solución implica el cambio de la totalidad de celulares existentes actualmente; nuestra propuesta supone el cambio de las antenas solo en la base de la celda, que es mucho más viable y además trae beneficios extras al operador de la red.

En la revisión de la literatura solo se encuentra antenas para celulares de polarización circular que son usadas del lado del móvil, como las ofrecidas por la empresa Wilson en su modelo 301123, información que se amplía en el link [http://www.wilson-electronics.com.ar/index.php?pagina=antena\\_casa\\_int\\_301123](http://www.wilson-electronics.com.ar/index.php?pagina=antena_casa_int_301123)

Existen propuestas innovadoras bajo control de patentes, como las mostradas en:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6710178>

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5159464&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F7727%2F4808186%2F05159464.pdf%3Farnumber%3D5159464>

#### **4.3.9 Antenas de Polarización Circular en la Base de la Celda.**

En el campo de las antenas base se encuentran antenas de polarización lineal y en el mejor de los casos de polarización dual (o cruzada), que difieren de las de polarización circular propuesta.

Existe la antena marca Kathrein para rango corto y medio en UHF usada en el servicio de RFID que puede verse en:

<file:///C:/Users/Antecol/Google%20Drive/Posgrado%20Gerencia%20Proyectos/2%20Semestre>

%20Materias/5%20Proyecto%20de%20Grado%20302/Documentos%20articulo/Kathrein%20RFID%20presents%20new%20Short%20Mid%20Range%20UHF%20RFID%20antennas%20\_%20KATHREIN%20RFID.htm

También existen antenas marca HUAWEI como la modelo A70451600 que sus especificaciones se encuentran en:

[http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw\\_316967.pdf](http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_316967.pdf)

Y las fabricadas por RYMSA como la modelo BGD3-800TV que también es de polarización cruzada: <http://kavveritelecoms.es/pdf/BGD3-800TV.pdf>

El mercado de las antenas base para celdas de celulares es tan restringido, que la misma antena muchas veces es ofrecida por diferentes fabricantes como KATHREIN, RYMSA Y SCALA, que a la larga resultan siendo el mismo producto.

#### **4.4 Desarrollo de una perspectiva teórica o de referencia**

##### **4.4.1 Buscando respuestas en las teorías existentes.**

En esta monografía se analizó sí las teorías existentes y las investigaciones anteriores sugieren una respuesta a la pregunta de la investigación, o sugieren una dirección a seguir en la investigación, tratando la solución desde el punto de vista de esta monografía, la cual se enfoca en maximizar el enlace entre la base y el móvil, buscando que el celular opere con la mínima energía requerida para una buena comunicación.

Son pocos los estudios e investigaciones encontradas para resolver el problema propuesto y los encontrados lo hacen en forma exploratoria, porque como se dijo es un tema novedoso que apenas se empieza a estudiar y resolver.

Los enfoques encontrados para resolver el problema propuesto, encuentran dificultades para ser implementados y opositores de uno u otro bando, dependiendo de cómo afecte su interés (recordar el caso mencionado de Steve Jobs, fundador y gerente de Apple, fabricante de los teléfonos iPhone)

La solución planteada por esta monografía es novedosa desde la perspectiva sugerida, porque no se encuentra en la literatura consultada, una propuesta para implantar la polarización circular en las antenas bases de las celdas, como si encontramos propuestas para implantarlas en los propios equipos celulares, sean o no viables físicamente.

Tampoco se encuentra en la literatura consultada, una propuesta que se aboque a sacar partido del control de potencia del celular, razón última que genera el problema de alta exposición a los campos electromagnéticos.

Encontramos trozos de teorías, como la pregunta del señor WUSEN participante en el foro de edaboard.com, mencionado anteriormente.

## 4.5 Definiciones

Como lo propone Sampieri en su libro, la definición científica de teoría “consiste en un conjunto de proposiciones interrelacionadas, capaces de explicar por qué y cómo ocurre un fenómeno, o de visualizarlos” (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2006).

Bajo esta perspectiva, en esta sección se quiere dar una introducción general sobre aspectos técnicos fundamentales de las antenas y en particular los aspectos que definen la polarización de una señal electromagnética radiada; conocimientos requeridos para entender los diferentes aspectos de la solución propuesta, y como ésta logra el objetivo planteado.

Se definirá que es una antena y sus principales características; también se requiere saber “Que es la Polarización de una señal electromagnética” y los diferentes tipos existentes.

Se describen las ventajas y desventajas de cada una de las posibles polarizaciones y su campo de aplicación más usual, en el estado actual del arte.

También se requiere comprender algunas particularidades en la operación de la red de celulares, para entender como la solución propuesta, lleva a cabo el objetivo planeado en esta monografía.

### 4.5.1 Antena y sus características principales.

“Una antena es un dispositivo casi siempre metálico, diseñado para emitir o recibir ondas electromagnéticas; una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas y

a su vez una antena receptora transforma ondas electromagnéticas en energía eléctrica, constituyéndose en un fenómeno recíproco”. (Wikipedia.org, s/f)

Las principales características que definen una antena, son ampliamente discutidas en el capítulo II del libro ANTENNAS de Jhon D. Kraus (Kraus, 1988); la explicación profunda de estas cualidades escapa al enfoque de esta monografía, pero son enumeradas a continuación; muchos de estos conceptos están interrelacionados matemáticamente, por las ecuaciones definidas y deducidas en el libro ANTENNAS de Kraus.

“Una antena Dipolo se define como la antena más simple, compuesta por dos elementos (casi siempre conductores) rectilíneos, colineales, de igual longitud, alimentados en el centro y de radio mucho menor que el largo”. (Wikipedia.org, s/f).

El dipolo más común es el de media longitud de onda y se toma como antena de referencia, para la caracterización de los parámetros de otras antenas más complejas.

#### **4.5.2 Diagrama de Radiación.**

“Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.3 Directividad.**

“La Directividad (D) de una antena se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección de máxima radiación y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que radia con la misma potencia total” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.4 Ganancia.**

“Se define como el aumento de potencia en la dirección de máxima radiación. La Ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.5 Eficiencia.**

“Relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena. También se puede definir como la relación entre ganancia y directividad” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.6 Impedancia de Entrada.**

“Es la impedancia de la antena en sus terminales. Es la relación entre la tensión y la corriente de entrada” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.7 Apertura del Haz.**

“Es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho de haz a -3dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima (en la dirección principal de radiación)” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.8 Relación Adelante/Atrás.**

“Este parámetro se define como la relación existente entre la máxima potencia radiada en una dirección geométrica y la potencia radiada en el sentido opuesto” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.9 Resistencia de Radiación.**

“Cuando se le suministra potencia a una antena, parte de ella se irradia y otra parte se convierte en calor disipándose. Cuando se habla de resistencia de radiación, se hace teniendo en cuenta que no se puede medir de forma directa” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.10 Pire.**

“En sistemas de radiocomunicaciones la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de la antena” (Wikipedia.org, s/f).

#### **4.5.11 Polarización de una Señal Electromagnética Radiada.**

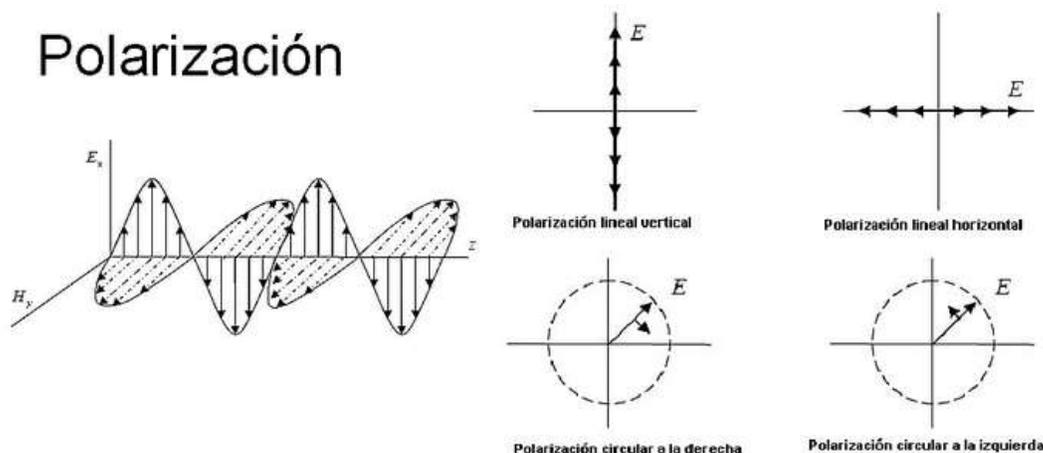
La polarización de una antena es usualmente definida en términos de la orientación del vector del campo eléctrico en la dirección de máxima radiación; por lo tanto un dipolo vertical (respecto al horizonte terrestre), radiará en polarización vertical y un dipolo horizontal radiará en polarización horizontal, como se describe en el apartado 1.4 del libro de Jasik (Jasik, 1961)

La polarización de la onda electromagnética es definida entonces por la dirección de su campo eléctrico (Kraus, 1988) que en su forma más genérica se llama polarización Elíptica, siendo sus casos más comunes la polarización vertical, horizontal y la circular.

Cuando la antena (que el equipo celular tiene interna o externamente) está colocada verticalmente, trasmite su señal en polarización vertical; igualmente cuando la antena está en

posición horizontal, la polarización de la señal emitida es en polarización horizontal; estos dos tipos de polarización son llamados polarización lineal y están referidos a un horizonte terrestre.

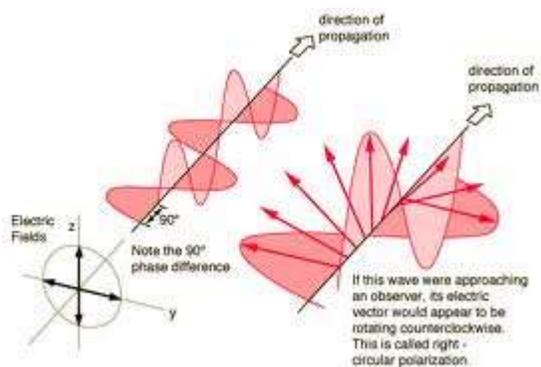
Figura 1. Polarización lineal y circular



Fuente: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/17903268/Parte-1-Aprende-Sobre-las-Antenas-de-TV.html>

Cuando el vector del campo eléctrico de la señal emitida rota alrededor de su eje de propagación, se dice que tiene polarización circular y/o elíptica y no está referido a ningún horizonte terrestre.

Figura 2. Polarización elíptica



Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/polclas.html>

Existe también la polarización cruzada, que consiste en tener en un punto en el espacio, simultáneamente, una señal de polarización vertical y otra de polarización horizontal, de la misma frecuencia; este caso se da en las cercanías de las antenas.

#### **4.5.12 Tipos de Polarización, ventajas y desventajas, campo de aplicación.**

La polarización vertical es la más usada en comunicaciones móviles, porque su antena vertical generalmente tiene un patrón de radiación omnidireccional, que se presta para transmitir igual potencia en todas las direcciones alrededor del móvil y por lo tanto, siempre está transmitiendo (de forma eficiente) en dirección a la base, independiente de la ubicación que tenga el móvil.

La polarización horizontal es usada principalmente en TV y en general en los servicios de comunicación “Punto a Punto” por sus cualidades directivas, ya que un dipolo en esta colocación tiene un punto de máxima radiación y recepción en la dirección perpendicular al mismo, y un punto de nula radiación (o captación) en la dirección de los extremos, características estas que permiten beneficiar la comunicación de la orientación que se le dé al dipolo.

La polarización circular (o elíptica) se produce cuando el vector de campo eléctrico de la onda electromagnética rota alrededor de su eje de propagación; cuando la magnitud de este vector eléctrico permanece constante al rotar, se denomina polarización circular y cuando la magnitud del vector cambia, se denomina polarización elíptica.

En la actualidad la polarización circular se usa en los enlaces satelitales, ya que la onda de radio al atravesar la atmosfera cambia la polarización de la señal en forma impredecible; la

polarización circular también tiene un uso generalizado en radiodifusión (FM) donde no se tiene control sobre la polarización de las antenas de recepción (caso similar al de los celulares).

La polarización cruzada tiene pocas aplicaciones en la actualidad, porque es todavía difícil el poder discriminar ambos campos; las técnicas digitales de modulación están permitiendo que esto sea posible, pero se encuentra en etapas tempranas de desarrollo.

Kraus demuestra que cuando la polarización de la onda radiada coincide con la polarización de la antena receptora, la transferencia de energía es máxima; y cuando se encuentra ortogonalmente ( $90^\circ$  de diferencia) la transferencia es cero (en teoría); en la práctica se encuentra que esta transferencia de energía se reduce en 3 dB (la mitad de la señal) cuando la diferencia de orientación es  $45^\circ$  y se reduce en 20 dB o más (Reisert, 2014), cuando la diferencia de orientación es  $90^\circ$  entre las antenas.

Una reducción de señal de 20 dB es disminuir en cien veces la señal transmitida.

#### **4.5.13 Homologación de Celulares.**

“Existe la llamada tasa de absorción (SAR) que especifica la radiación de cada modelo de móvil; en general, radiaciones superior a 1,4W se consideran como muy altas (aunque legales), y por debajo de los 0,7 o 0,6 vatios (W) suelen ser las más bajas” (Comohacerpara.com, s/f)

Para mayor información consultar el trabajo realizado por GSM Association, mencionado anteriormente.

#### **4.5.14 Cómo funciona una Red de Teléfonos Celulares**

Como lo explica de forma sencilla el documento de la GSM Association, cuando el celular se enciende, la red comprueba cual es la celda que mejor atiende el móvil (desde el punto de vista de conexión) y lo asigna a ella, indicándole con que potencia debe transmitir, para ser bien escuchado por la base asignada. (GSM Association, 2012)

#### **4.5.15 Manejo de Potencia de la Red Celular.**

Los sistemas de celulares controlan desde la estación base la potencia con que transmite el móvil (Martínez, 2014), ordenando al celular operar con potencia reducida cuando el enlace lo permite, como método para lograr una óptima calidad de la comunicación, evitando interferencias entre canales adyacentes y garantizando una mayor duración de la batería del móvil.

Cuando el sistema detecta que existe una disminución de la señal del móvil por debajo de un umbral determinado, le ordena a este que aumente la potencia de transmisión para tratar de mantener la calidad de la comunicación.

Con este procedimiento la red celular compensa las pérdidas (o variaciones) que por diferentes motivos se presenten en la comunicación entre la base y el móvil, asegurando una óptima calidad en la transmisión de la información.

Cuando con la máxima potencia de transmisión del móvil no se logra una buena comunicación, el sistema busca celdas alternativas que puedan establecer una buena comunicación y si es necesario reasigna el celular a la nueva celda.

Este detalle de control de la potencia es el que aprovecha la propuesta de esta monografía, para disminuir en forma sustancial la exposición del usuario a los campos electromagnéticos del celular, (que es proporcional en forma cuadrática a la potencia con que radia el celular al momento de la comunicación) y en los demás momentos cuando el móvil se reporta a la red.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 Diseño Metodológico**

En este capítulo se describe la manera de abordar la investigación y el alcance que se le pretende dar al trabajo

### **5.2 Enfoque Cuantitativo**

Se trata de una investigación Cuantitativa porque la investigación reza sobre un fenómeno físico medible, como es la exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos.

Esta es una propuesta que puede ser confirmada o refutada experimentalmente y tiene una relación causa – efecto, por lo tanto se cumple todas las características de una investigación cuantitativa, indicadas por Sampieri (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2006)

En este trabajo se sigue un proceso secuencial y deductivo que alienta a futuras investigaciones, para que planteen una hipótesis y hagan un análisis objetivo de la realidad; lo anterior permitiría una generalización de los resultados y tener un control sobre el fenómeno estudiado.

Esta monografía no tiene un enfoque cualitativo ni mixto, porque se enfoca en una realidad externa al sujeto que investiga.

En este momento no se tiene acceso al interior de las redes de celulares en Colombia, indispensable para evaluar estadísticamente el efecto de la propuesta.

Se invitó a participar a los diferentes operadores de redes celulares en Colombia y a los demás actores en el ámbito de las comunicaciones en Colombia.

### **5.3 Tipo de Investigación y Alcance**

Se define la investigación exploratoria como la que desea examinar un tema poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado anteriormente, en ella se quiere conocer algo nuevo y familiarizarnos con la variable; la investigación exploratoria se aplica cuando la literatura encontrada no contempla el enfoque dado a la investigación. (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2006)

Después de una exhaustiva búsqueda de información no se encontró literatura con el enfoque planteado en la monografía; porque se pretende analizar el evento de la polarización circular en el marco de las redes de teléfonos celulares y comprender sus efectos en términos de sus aspectos menos evidentes.

Dada entonces la imposibilidad de tener acceso al sistema operativo de la red de celulares, no se puede plantear el alcance de este trabajo más allá de una investigación exploratoria, en los términos en que los define Sampieri.

Se realiza por lo tanto un planteamiento teórico, sobre el beneficio de usar antenas de polarización circular en el ámbito de las celdas de la red, que atiende a los usuarios.

#### **5.4 Establecer la Hipótesis**

Aunque no es del ámbito de esta monografía plantear una hipótesis que se quiera demostrar mediante métodos científicos y estadísticos, si deseamos aventurarnos a plantear algunas de ellas en el apartado de RECOMENDACIONES, como aporte a futuras investigaciones del tema, que si puedan tener acceso a la manipulación de la red de celulares.

#### **5.5 Diseño de la Investigación**

Esta monografía por ser de tipo exploratorio no tiene planteada una hipótesis que requiera ser comprobada mediante procedimientos experimentales; por esta razón no se entra a precisar el diseño específico de la investigación, que si se necesita cuando se tiene una hipótesis para comprobar.

Este trabajo más que una investigación es una reflexión sobre las características tanto de las antenas como de la forma de operar de las redes celulares, que se ha explicado con profusión en las etapas anteriores de la monografía.

Por lo tanto el diseño investigativo del trabajo se fundamenta principalmente en la experiencia de 30 años que el autor tiene en diferentes áreas del conocimiento como propagación, antenas, características de los receptores/trasmisores móviles y en general del conocimiento técnico en todos los ámbitos que le ha tocado estudiar y desarrollar; por ejemplo para realizar las transmisiones de eventos deportivos tan importantes como el Tour de Francia, la Vuelta a España, la Vuelta a Italia, la Vuelta a Colombia y el Tour L’Avenir, dirigidas en la década de los años 80s.

## **5.6 Selección de la Muestra**

Con la intención de conseguir una forma de poder verificar los planteamientos teóricos y de avanzar lo más posible en la aplicación práctica de la propuesta, se decidió convocar a participar a las partes que se consideró estarían interesadas en los resultados de esta monografía, mediante cartas; un carta modelo se adjunta en los anexos.

En estas cartas se instó a participar a los posibles interesados para que aportaran a la investigación en la medida que quisieran, que pudieran y que lo consideraran de interés; además se les aclaró que no era una solicitud de dinero para contribuir con la investigación.

Como el universo de los interesados era pequeño, se resolvió enviar la propuesta de participación a todos los que se consideró podrían dar una rápida respuesta, dado los limitantes de tiempo establecidos para esta monografía.

El universo se definió como:

Cuatro (4) operadores de red:

- CLARO
- TIGO
- MOVISTAR
- AVANTEL

Dos (2) gremios que reúnen a los interesados, tanto prestadores del servicio como usuarios:

- ASOMOVIL
- CONFEDERACIÓN COLOMBIANA DE CONSUMIDORES

Un (1) ente gubernamental regulador del medio:

- MINTIC

Un (1) medio de comunicación especializado en el tema:

- La revista ENTER.COM

Se entiende que la época de final de año no es el momento más adecuado para este tipo de convocatorias y el poco tiempo disponible para la entrega del trabajo, tampoco da espacio suficiente para las respuestas deseadas; pero se deja en los anexos constancia de las cartas enviadas y las respuestas recibidas hasta el momento de entregar esta monografía.

De todas formas se considera que las cartas y sus convocados, serán de interés para futuras investigaciones que quieran continuar con el desarrollo de la solución propuesta.

## **5.7 Recolección de Datos Cuantitativos**

TIGO contestó a los 16 días sugiriendo dirigir la solicitud a la Dirección de Eventos y Patrocinios de TIGO.

MOVISTAR contestó a los 22 días agradeciendo se les hubiera tenido en cuenta, también informó que la solicitud se haría llegar al área correspondiente (sin especificarla) y que en caso de interés se pondrían en contacto, hecho que no ha sucedido al momento de concluir este trabajo.

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones contestó a los 26 días informando que carece de competencia para participar en la investigación y aduce la ley 1341 de 2009 y el artículo 16 de decreto 2618 de 2012 para no hacerlo; curiosamente esta ley y el decreto mencionado definen como parte de las obligaciones del Ministerio, el fomentar,

reglamentar y promover la investigación sobre estas materias; de todas maneras manifestaron interés en la investigación y agradecen se les haga llegar una copia del trabajo.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Análisis de la solución propuesta

La problemática nace de que el operador de la red celular no controla la polarización de la antena en el teléfono móvil del usuario, por lo que requiere mantener niveles suficientemente altos de señal, para garantizar la comunicación en los casos de mínima coincidencia de polarización, lo que se traduce en un problema de sobreexposición (del usuario) a las señales de radio frecuencia emitidas por su móvil, y al solapamiento de las celdas que conforman la red, originando conexiones a celdas incorrectas y produciendo un aumento de la exposición del usuario, a mayores campos electromagnéticos de los estrictamente requeridos.

La simple observación de como los usuarios operan sus equipos celulares, muestra que en el mejor de los casos las personas colocan su móvil en una posición inclinada de  $45^\circ$  (respecto de la vertical), muchas veces los colocan en posición horizontal, y casi nunca los usan en posición completamente vertical.

Los operadores de celulares en Colombia usan la polarización vertical en las antenas que comunican con el usuario, por lo que el enlace es eficiente únicamente cuando el abonado coloca su teléfono de tal manera que su antena (interior o exterior a celular) esté verticalmente colocada.

En los casos de mínima coincidencia de polarización ( $90^\circ$  de diferencia) entre la antena base y el móvil, el enlace requiere ser compensado hasta con 20 dB más de señal, ordenando la base al móvil que aumente alrededor de 10 veces más potencia en el teléfono móvil, cuando transmite en circunstancias de mínima coincidencia de polarización entre antenas.

Si la base usa antenas de polarización circular y el móvil mantiene su antena de polarización lineal, existe una pérdida constante de 3 dB (con respecto a la perfecta coincidencia de polarizaciones que casi nunca se da), esto para cualquier posición del móvil, pérdida que es posible compensar en la base usando antenas de mayor ganancia y/o otras alternativas existentes.

Se concluye que es mejor compensar de alguna manera los 3 dB de señal en las antenas bases, que ordenarle al móvil aumentar su señal a niveles de hasta 20 dB, con el consiguiente aumento del campo electromagnético en la región cercana a la cabeza del usuario, en una magnitud de 100 veces.

Estas fluctuaciones de potencia en los teléfonos móviles hace que las celdas tengan un tamaño de servicio (o cubrimiento) variable, de acuerdo a la falta de coincidencia de polarización.

En algunos momentos la celda (desde el punto de vista de la base) se comporta entonces de mayor tamaño y otras veces con menor cubrimiento, dificultando la determinación del cambio de celda (Hangover), lo que a la larga se termina resolviendo aumentando el solapamiento de las celdas entre sí.

## 6.2 Dónde aplicar la solución

Otro concepto que se debe tener claro es que cuando de un lado del enlace se tiene una antena con polarización lineal (bien sea vertical u horizontal) y en el otro extremo se tiene una antena de polarización circular, el sistema tiene una pérdida (con respecto a usar antenas de polarización circular en ambos extremos) de 3 dB, independiente de que la antena de polarización circular esté en la base o en el móvil.

Para una mayor información consultar en: <http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/antennapol.php>

Las antenas de polarización circular son más complejas mecánica y eléctricamente, casi siempre más voluminosas que las de polarización lineal y por lo tanto es más difícil implementarlas dentro de los equipos móviles.

Instalar las antenas de polarización circular es más fácil en las torres de las bases de las celdas, porque además de tener suficiente espacio disponible, se benefician todos los celulares que se encuentren operando en la red.

### 6.3 Optimización del recurso escaso

La polarización circular hace un uso intensivo y eficiente del espectro electromagnético, que el propio Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia, lo define como un **recurso escaso**. (MinTIC, Espectro radioeléctrico: un recurso escaso que se debe optimizar, 2012) (Resaltado fuera de texto)

El espectro electromagnético radiado es un recurso escaso, porque aún no es tecnológicamente posible asignar en servicios móviles, la misma frecuencia dos o más veces, para el mismo lugar y operando simultáneamente.

Cuando un operador asigna una frecuencia que será captada por los móviles de la celda y determina una polarización (que casi siempre es vertical) no puede asignar esa misma frecuencia en la misma celda, en polarización horizontal; tampoco puede hacerlo en las celdas adyacentes.

El operador entonces opta por no asignar la polarización horizontal de todas las frecuencias de los móviles en toda su red, por lo tanto se DESPERDICIA el 50% del espectro de ese operador, al no usar la polarización horizontal.

La polarización circular hace uso intensivo de todas las posibles polarizaciones de la onda electromagnética, porque al rotar alrededor de su eje de propagación, cambia desde la polarización vertical a la horizontal, pasando por todas sus polarizaciones intermedias, a la velocidad de giro de la frecuencia radiada.

Por lo tanto una señal 3G de polarización circular en 1.9 Ghz, estará en perfecta coincidencia de polarización con la antena del usuario 1900 millones de veces cada segundo, que para efectos de la velocidad de transmisión de datos, es como que se mantuviera constantemente en la máxima coincidencia posible de polarización.

Una forma coloquial de explicar el fenómeno se basa en las características de un vidrio polarizado de frecuente uso en fotografía, en gafas y en técnicas de rayos laser, el cual solo deja pasar los rayos (en este caso de luz) de una única polarización, de tal manera que rotando el lente se consigue cancelar o dejar pasar los rayos de polarización deseada.

Una comparación similar a utilizar una sola polarización, es cuando se usan gafas polarizadas, donde inmediatamente se reduce el brillo de todo alrededor del observador, oscureciendo (depende del grado de polarización) toda la escena, esto se debe a que los ojos dejan de percibir la luz que llegue con polarización diferente a la que las gafas permiten pasar; este es el principio de las gafas para ver cine en tres dimensiones.

Radiar con polarización circular es como quitarle “las gafas” al receptor, el cual “verá” todo mucho más iluminado al captar toda la luz independiente de su polarización, que equivale en este caso a captar una señal más fuerte y por lo tanto no se requiere alumbrar con tanta energía (en este caso transmitir con menor potencia) para ver con claridad la escena (en este caso recibir la información sin errores).

Si el sol radiara con una única polarización su luz sobre la tierra y el observador se colocara gafas de polarización diferente a la emitida, vería toda una gama de intensidades (dependiendo del grado de coincidencia de la polarización) que irían desde ver muy claro hasta

prácticamente no ver nada, al reducir la luz hasta en una centésima parte (que es reducir la intensidad en 20 dB o 1/100)

Esta simple explicación hace notar que transmitir con antenas de polarización circular desde la base, es una forma de “saturar” el espacio con una señal en todas las polarizaciones posibles, que siempre atenderá la polarización de la antena del móvil en cualquier momento y que por lo tanto se mantendrá la más eficiente comunicación, desde el punto de vista de la polarización.

#### **6.4 El Tamaño de la Celda**

Entendido el fenómeno de variación de señal en hasta 20 dB (debido a la falta de coincidencia de polarización), forzosamente se concluye que la red celular tiene que considerar un margen de variación para atender la falta de esta coincidencia; si se cambian las antenas de la base a polarización circular ya no se requiere tener 17 dB de margen de variación prevista ( $20 - 3 = 17$ ), lo que se traduce en un aumento del tamaño de la celda, si se mantienen los demás parámetros constantes, como se explica a continuación.

En el tema de propagación de señales es común la llamada fórmula de FRISS que relaciona la potencia radiada por una antena transmisora y la potencia recibida por una carga acoplada a una antena receptora (Sosa, 1989).

De esta ecuación se deduce la atenuación en el espacio libre, dada por la siguiente fórmula:

$$\alpha = 32.4 + 20 \text{ Log}(f) + 20 \log(r) \text{ en dB}$$

Donde:

$\alpha$  es la atenuación en el espacio libre expresada en dB

f es la frecuencia en Mhz

r es la distancia en kilómetros

Se ha explicado al principio de este capítulo, que se propone usar polarización circular en las antenas de la base y mantener las antenas de polarización lineal en el móvil, sabiendo que se tiene una pérdida constante de 3 dB de señal en esta nueva configuración, pero evitando a su vez una variación de señal de hasta 20 dB debida a la no coincidencia de polarización; esto indica que si se cambian las antenas de las bases de las celdas de polarización vertical a circular, no se requiere mantener un margen de señal de hasta 17 dB.

Si se aplican 20 dB a la ecuación de atenuación en el espacio libre, para el caso estudiado, se tiene:

$$20 = 32.4 + 20 \log(1900) + 20 \log(r) \text{ dB}$$

Resolviendo y despejando r, se encuentra que:

$$r = 1.022 \text{ Km}$$

El anterior cálculo indica que debido a la variación de señal por falta de coincidencia de polarización, la red lo interpreta como un cambio de distancia de 1.022 Km entre el móvil y la base.

El área típica de una celda de celular en la frecuencia de 800 Mhz es de 50 Km<sup>2</sup> y en 1.8 Ghz son típicamente de 10 Km<sup>2</sup> (Unad, s/f); como en Colombia se usa en las ciudades principalmente 1.9 Ghz, se toma como referencia celdas con un área típica de 10 Km<sup>2</sup>

Aplicando la fórmula del área del círculo se encuentra que una celda de 10 Km<sup>2</sup> tiene un radio de 1.784 Km.

En el caso del colocar antenas de polarización circular en la base de la celda, se tiene una ganancia neta de 17 dB, si se aplica este valor a la ecuación de atenuación en el espacio libre, para el caso:

$$17 = 32.4 + 20 \log(1900) + 20 \log(r) \text{ dB}$$

Resolviendo y despejando r, se encuentra que:

$$r = 1.027 \text{ Km}$$

Por lo tanto un aumento de 1.027 Km en un radio original de 1.784 Km representa un incremento del 57.6% en la distancia entre la base y el móvil.

Se concluye que si se cambia las antenas de la base a polarización circular, se economiza una variación de señal de 17 dB que se traduce en un aumento del radio de la celda en un 57.6% y en un aumento del aérea de la celda del 248%

Este resultado es coherente también con la investigación del Dr. Schadler mencionada anteriormente; o incluso puede ser el mismo resultado: el uno descubierto mediante procesos investigativos estadísticos y el nuestro mediante análisis mental y matemático de sus efectos.

También se observa que el cambio de distancia entre 17 dB y 20 dB son apenas 7 metros, por lo que se concluye que aunque es posible, no es significativo entrar a corregir la pérdida constante de 3 dB, debido al cambio de polarización.

## 7. CONCLUSIONES

La propuesta de esta monografía se basa en optimizar la comunicación entre la base origen de la celda y el equipo móvil “celular” del abonado, mediante el uso de la polarización circular, como método para minimizar la potencia requerida para establecer una comunicación adecuada entre el abonado y la celda que lo atiende y controla; mientras menos potencia requiera el teléfono para establecer una óptima comunicación, menor es el campo electromagnético alrededor del equipo y por lo tanto menor la exposición del usuario; especialmente en su cabeza.

Al mostrar como la polarización circular en las antenas base de la red celular, afectan la forma de funcionamiento del móvil haciendo que transmita con la mínima potencia requerida, se plantea una propuesta que de ser implementada, minimiza la exposición a campos electromagnéticos que reciben millones de personas en el mundo, donde sus redes de celulares actualmente no estén aplicando la polarización circular, como ocurre en Colombia.

La primera y más importante conclusión es que se ha demostrado como el cambio sugerido de polarización en las antenas base de las celdas de celulares, evita que la señal transmitida por el móvil, aumente hasta en 10 veces su potencia, por motivos que pueden ser evitados.

Se ha explicado cómo al evitar estas fluctuaciones de señal y operar el sistema de transmisión – recepción entre base de celda y móvil con su máxima eficiencia, se minimizan los posibles efectos sobre la salud de las personas que usan el sistema.

Otra conclusión importante que redundaría en beneficio de los operadores de red y que los motivaría al cambio, es que al cambiar la tecnología celular TMA en 850 Mhz a 3G en 1.9 GHz, las celdas (de los primeros operadores en Colombia) se reducen en su área de cubrimiento, requiriendo reconfiguración de la topología de la red que es muy costoso; con la polarización propuesta se optimiza el sistema de transmisión y por lo tanto la reconfiguración de la red es menor al compensar de alguna manera la reducción de la celda, presentando una área de servicio más constante en su operación, y ahorrando en muchos casos costos de instalación de nuevas celdas intermedias.

## 8. RECOMENDACIONES

### 8.1 Hipótesis para futuras investigaciones

Aunque no es del ámbito de esta monografía plantear una hipótesis que se quiera demostrar mediante métodos estadísticos, deseamos aventurarnos a plantear algunas, como aporte a futuras investigaciones del tema.

Sampieri define la hipótesis como “explicaciones tentativas del fenómeno investigado, que se formulan como proposiciones”. (Hernández Sampieri & Fernández-Collado, 2006)

Desde esta óptica se propone las siguientes hipótesis:

- La variación de la potencia con que trasmite un celular se debe ver disminuida, cuando se usan antenas de polarización circular en las antenas base que atiende el teléfono.
- El promedio de potencia con que trasmite el celular estando en una celda con antenas de polarización circular, debe ser inferior al promedio de potencia transmitida cuando está en una celda con antenas de polarización lineal.

Si se demuestra la validez de estas dos hipótesis, como corolario se tendrá que la exposición del usuario a los campos electromagnéticos se verá reducida en una magnitud igual al cuadrado de la reducción de potencia promedio que se obtenga, debido al cambio de polarización en las antenas base de la celda.

Aquí la variable a medir es la potencia con que trasmite el celular en los dos diferentes ambientes o celdas.

Las demás etapas requeridas para definir conceptual y operacionalmente las variables, así como el tipo de hipótesis más adecuadas, se dejan al criterio de futuros investigadores.

## **8.2 Otras Recomendaciones**

- Se recomienda usar la polarización circular para dar cumplimiento al mandato de optimizar el uso de recursos escasos, y en este caso específico, la utilización eficiente de las frecuencias en su área de servicio.
- Existe un beneficio directo para los operadores de la red de celulares, porque como se concluye, las dimensiones físicas de las celdas (desde el punto de vista electromagnético y de cubrimiento) son más constantes que con la polarización vertical usada en la actualidad, aumentando su área efectiva de cubrimiento.
- La polarización circular también beneficia al operador de la red, porque al adoptar esta polarización, le permite diseñar y operar la celda en una forma más predecible y eficiente.
- Un beneficio adicional para el usuario (y para el operador de la red) es que la duración de carga de la batería del celular se incrementa significativamente, porque al transmitir el celular

con el mínimo de potencia requerido para establecer un enlace adecuado, se reduce en forma proporcional el consumo de energía del móvil, alargando el tiempo entre recargas.

- Se debe verificar estas conclusiones con pruebas de campo que solo pueden realizar los operadores de las redes de celulares, ya que además de poseer los equipos, también son los únicos que tienen acceso a la información que se requiere recopilar, para avalar un estudio experimental de la solución propuesta.

- La implementación de este modelo en muchos casos puede lograrse sin desperdiciar las antenas ya existentes.

- Se recomienda que este trabajo sea puesto en conocimiento del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Mintic), del Ministerio de Medio Ambiente y de los operadores de las redes celulares, para que lo evalúen y traten de implementarlo.

## BIBLIOGRAFÍA

Assis, M. (5 de Mayo de 2014). *www.cronista.com*. Obtenido de <http://www.cronista.com/valor/Cantidad-de-celulares-en-el-mundo-se-aproxima-al-total-de-la-poblacion-global-20140505-0093.html>

Comohacerpara.com. (s/f). Obtenido de [http://comohacerpara.com/reducir-la-radiacion-del-telefono-movil\\_7105a.html](http://comohacerpara.com/reducir-la-radiacion-del-telefono-movil_7105a.html)

GSM Association. (2012). *www.gsma.com/health*. Obtenido de [www.asomovil.org: http://www.asomovil.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=22&Itemid=143](http://www.asomovil.org/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=143)

Hernández Sampieri, R., & Fernández-Collado, C. B. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

Jasik, H. (1961). ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK. En H. Jasik, *METHODS OF OBTAINING CIRCULAR POLARIZATION* (págs. 17-1). New York: McGRAW-HILL.

Johannes, L. (12 de noviembre de 2013). *Funcionan los dispositivos para reducir la radiación de los teléfonos celulares ?* Obtenido de <http://lat.wsj.com/articles/SB128958738138756615?tesla=y>

Kraus, J. (1988). ANTENNAS. En J. D. Kraus, *WAVE POLARIZATION* (pág. 70). McGraw-Hill.

Martínez, O. (2014). *monografias.com*. Obtenido de

<http://www.monografias.com/trabajos75/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs2.shtml#ixzz3CTIOlJJx>

MinTIC. (31 de enero de 2005). *Página del Ministerio de Comunicaciones*. Obtenido de

<http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-3569.html>

MinTIC. (20 de junio de 2012). *Espectro radioeléctrico: un recurso escaso que se debe*

*optimizar*. Obtenido de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-958.html>

MinTIC. (2014). *Boletín Trimestral de las TIC*. Obtenido de

[http://colombiatic.mintic.gov.co/602/articles-5550\\_archivo\\_pdf.pdf](http://colombiatic.mintic.gov.co/602/articles-5550_archivo_pdf.pdf)

Población, C. M. (s/f). *Las comunicaciones inalámbricas y la salud*. Obtenido de

<http://www.rfcom.ca/primer/phonessp.shtml>

Presidencia de la República de Colombia. (31 de Enero de 2005). DECRETO 195 DE 2005.

Bogotá, Colombia.

Radiansa Consulting. (s.f). *www.radiansa.com*. Obtenido de

<http://www.radiansa.com/contaminacion-electromagnetica/radiacion-moviles/index.htm>

Reisert, J. (2014). *Astron Wireless Technologies*. Obtenido de

<file:///C:/Users/Antecol/Google%20Drive/Posgrado%20Gerencia%20Proyectos/Articulo%20Indexado/Documentos%20articulo/Antenna%20Polarization%20Vertical%20Horizontal%20Circular%20Polarization%20%20%20ASTRON%20WIRELESS.htm>

Saraví, F. (s/f). *Pensar*. Obtenido de Telefonía móvil y salud: <http://www.pensar.org/2006-02-contracorriente.html>

Schadler, J. L. (s/f). Benefits of Circular Polarization for Mobile Service. Raymond, Meriland, USA.

Sosa, J. (1989). RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y ANTENAS. En J. Sosa Pedrosa, *FORMULA DE FRISS* (pág. 128). México: limusa.

Unad. (s/f). *Redes y Servicios Telematicos*. Obtenido de Lección 12: Tecnología celular: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin\\_12\\_tecnologa\\_celular.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin_12_tecnologa_celular.html)

Uniminuto. (s/f). *Corporación Universitaria Minuto de Dios*. Obtenido de <http://www.uniminuto.edu/web/biblioteca/mision-y-vision1>

Vasilis Christofilakis, C. V. (septiembre de 2014). <http://www.telecomlab.gr/>. Obtenido de [http://www.telecomlab.gr/papers/V\\_Christofilakis\\_Absorbed%20Power%20Minimization%20in%20Cellular%20Users%20with%20Circular%20Antenna%20Arrays.pdf](http://www.telecomlab.gr/papers/V_Christofilakis_Absorbed%20Power%20Minimization%20in%20Cellular%20Users%20with%20Circular%20Antenna%20Arrays.pdf)

Wikipedia.org. (s/f). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

WUSEN. (junio de 2004). *EDboard.com*. Obtenido de <http://www.edaboard.com/thread30079.html>

## ANEXOS

Carta modelo de invitación a participar en la investigación:

Señores

**ASOMOVIL**

Aten. Sr. Gerente

<http://www.asomovil.org/>

**REFERENCIA:** Invitación a participar en la investigación sobre: “Radiación con Polarización Circular, como método para minimizar el Impacto electromagnético en el usuario de celulares”

Respetado Señor:

Como trabajo de posgrado actualmente adelanto una investigación sobre la polarización circular, como método para minimizar la exposición a campos electromagnéticos, en el usuario de celulares.

Este tipo de polarización usada en la red que ustedes operan, trae también beneficios para el operador, porque mejora el cubrimiento de las celdas.

Lo invito a participar en esta investigación, designando a la persona que considere apropiada, para que se ponga en contacto con nosotros y explicarle en detalle de que se trata nuestra investigación.

No se solicita ninguna contribución económica ni de ningún otro tipo, solo queremos incluir sus puntos de vista al respecto y los demás aportes que consideren relevantes.

Atentamente,

Herbert Botero B.

**Respuestas recibidas hasta el momento de entrega de la  
monografía**