



**ANTENAS PARA COMUNICACIONES  
MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS  
RURALES**

Paola Benítez Navarrete  
Byron Oviedo Bayas  
Jorge Murillo Oviedo



# **ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES**

**Paola Benítez Navarrete  
Byron Oviedo Bayas  
Jorge Murillo Oviedo**

**ANTENAS PARA COMUNICACIONES  
MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS  
RURALES**



Título original: ANTENAS PARA COMUNICACIONES  
MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS  
RURALES

Primera edición: enero 2020

© 2020, Paola Benítez Navarrete

Byron Oviedo Bayas

Jorge Murillo Oviedo

© Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Publicación derivada del 5to Congreso Multidisciplinario  
de Investigación Científica.

Guayaquil-Ecuador

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Editado en Guayaquil - Ecuador

ISBN: 978-9942-33-166-3

Cita.

P. Benítez, B. Oviedo, J. Murillo (2020) ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 59 pag

## **INTRODUCCIÓN.**

Durante los últimos años se ha experimentado un incremento espectacular en la investigación, desarrollo e implantación de sistemas y redes de acceso fijo inalámbrico de banda ancha o LMDS. El factor de éxito de estas redes reside principalmente en que son soluciones eficientes en costo y con un alto grado de flexibilidad en su despliegue. En la actualidad se están implantando redes con estas características en todo el mundo, la oferta de equipos comerciales es bastante amplia y se están proporcionando servicios de voz, vídeo y datos a través de dichas redes, lo que ha traído consigo un crecimiento continuo del número de usuarios en los sistemas de comunicaciones móviles, provocando a su vez una necesidad cada vez mayor de incrementar su capacidad. El surgimiento y establecimiento de estas nuevas y novedosas tecnologías, ha entrañado la necesidad de diseñar nuevos y variados tipos de antenas capaces de cumplir con los requerimientos necesarios que imponen estos sistemas para su adecuado funcionamiento.

En la actualidad muchas de estas antenas no están incluidas en nuestros planes de estudio por varias razones donde una de ellas es la carencia

de información que permita abordarlas en los cursos de pregrado. A pesar del profundo análisis bibliográfico realizado y la búsqueda, se han logrado la ubicación de una gran variedad de antenas pero se adolece en buena medida de los métodos de diseño que se emplean en cada caso.

El propósito de este trabajo está en realizar un estudio de los diferentes tipos de antenas que se utilizan en las comunicaciones móviles, además de analizar los métodos de diseño y la forma en que se pueden implementar e introducir en los diferentes sistemas, así como elaborar un material que explique las características de cada una de las antenas seleccionadas se ha planteado un grupo de actividades técnicas y de investigación, para el estudio general de las antenas que se utilizan en las comunicaciones móviles. Dando una visión generalizada de cómo se encuentra la tecnología en la zona rural con relación al uso de antenas móviles y su impacto en la población.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN. ....	2
CAPITULO I .....	6
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
Problemas de la Propagación.....	11
Tendencias actuales en la investigación de la propagación .....	12
Técnicas de antenas en la estación base. ....	13
Tipos de antenas.....	15
Capítulo 2 .....	18
Diseño de antena de haz conformado.....	18
Distancia de reutilización de la frecuencia. ....	19
Haz sectorial. ....	21
Conformación del haz en el plano vertical. ....	22
Haz conformado con un nivel de lóbulo lateral suprimido.....	23
Diversidad .....	24
Configuración de las antenas de diversidad en la estación base..	24
Espaciamiento horizontal para la diversidad.....	25
Espaciamiento vertical para la diversidad.....	25
Técnicas de antenas de estación móvil.....	26
Requerimientos del sistema y funcionamiento de la antena. ....	26
Antenas vehiculares de frecuencia dual. ....	29
Antenas de sistemas compatibles.....	30
Antenas para teléfonos portátiles. ....	30
Técnicas y consideraciones de los diseños de antenas usadas en teléfonos portátiles .....	33
Tipos de antenas.....	36

Diversidad de antenas.....	38
Sistemas de antenas para teléfonos portátiles.....	39
Sistemas de comunicaciones móviles .....	41
Sistemas Troncales (trunking).....	42
Sistema TETRA .....	42
Sistema GSM (2G) .....	43
Sistema GPRS (2.5G) .....	44
Sistema UMTS (3G) .....	44
Redes y estándares usados en la telefonía celular .....	45
Capítulo 3 .....	51
Resultados y procesos de la investigación.....	51
Pasos del desarrollo de la Investigación.....	52
Construcción metodológica del objeto de Investigación.....	53
Antenas Inteligentes.....	54
Limitaciones inherentes a los sistemas móviles como GSM y UMTS..	55
El desvanecimiento por multitrayecto.....	55
La interferencia cocanal.....	55
La dispersión temporal de la señal recibida.....	56
Definición de antena inteligente.....	56
Ventajas y desventajas de los sistemas de antenas inteligentes. ....	57
Incremento de la zona de cobertura.....	57
Reducción de la potencia transmitida.....	58
Reducción de la propagación multitrayecto.....	58
BIBLIOGRAFIA .....	59

# **CAPITULO I**

## **MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

La dotación de servicios a través de medios físicos en zonas rurales no es rentable ni factible económicamente, puesto que la cantidad de usuarios no justifica la inversión, es por esto que por medio de enlaces y de antenas inteligentes se logra acceder a varias tecnologías de información de forma más económica y con mayor rapidez en su instalación debido a que su complejidad es menor, y se reducen los costos para su aplicación.

La parroquia La Esperanza, está ubicada a 75 km en la vía Quevedo Valencia; parroquia rural perteneciente al cantón Quevedo, provincia de los Ríos, cuenta una población aproximada de 4853 habitantes según el último censo realizado por el INEC en el año 2010 y con una superficie aproximada de 180 km<sup>2</sup>, ubicada al este del cantón Quevedo y norte de la provincia de Los Ríos.

La realización de la investigación se la realizo en el sitio Atascoso perteneciente a la parroquia la Esperanza, cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, su población aproximada es de 80 habitantes, los cuales por pertenecer a un lugar de complicado acceso lo que hace que sus necesidades no sean satisfechas de forma adecuada. La dotación de servicios de telecomunicaciones en zonas rurales no es de interés a las empresas encargadas de brindar estos servicios ya que no les resulta rentable ni factible económicamente. Debido esto los habitantes del sector del Atascoso no han visto



satisfechas sus necesidades en lo referente a las telecomunicaciones que brindan las diferentes instituciones encargadas de ofrecerlas dentro del país.

En el sector existen escuelas y centros de apoyo comunitario los mismos que al igual que la comunidad demandan de manera prioritaria contar con los servicios de buena calidad y a costos razonables.

En la actualidad y con la llegada inminente de UMTS y la implantación de nuevos servicios de última generación, se hace imprescindible el uso de un plan de servicio que dé cobertura a las zonas rurales en cuanto a tecnología se refiere. Uno de los compromisos de los gobiernos centrales es dotar de infraestructura necesaria para que esto sea posible, tanto así que las operadoras encargadas de prestar servicios de telecomunicaciones tienen la obligación de brindarlos, caso contrario su concesión se vería perjudicada. En este aspecto y teniendo en cuenta que una de las principales limitaciones en estos sistemas es la posibilidad de que, obstáculos físicos (vegetación, obstrucciones temporales) o bien condiciones meteorológicas adversas (lluvia, nieve), degraden su rendimiento al interceptar o afectar a la línea de visión directa requerida, se ha planteado como una buena solución el uso de antenas inteligentes. En su gran mayoría los sectores rurales carece de servicios de telecomunicaciones básicos, lo cual imposibilita a sus habitantes tengan acceso

a las ventajas que estos brindan, siendo esta una actividad primordial para el desarrollo del país.

Los medios físicos para brindar solución a esta problemática a través de medios no guiados, viendo las opciones más viables, de poca inversión y que ofrezca los beneficios que se requieren. Dado el caso de las antenas móviles, las cuales permiten ingresar a sectores remotos y de difícil acceso. El empleo de esta novedosa tecnología permitirá no solo aumentar la capacidad de transmisión, sino también llegar con una calidad de señal, incrementar el alcance, aumentar el nivel de seguridad e incluso introducir nuevos servicios aprovechando las características particulares de adaptación en función de las condiciones cambiantes del entorno.

### **Sistema de antenas móviles terrestres**

Los sistemas de comunicaciones móviles terrestres emplean estaciones móviles y estaciones bases. En las que son empleadas diferentes tipos de antenas, que además se diferencian en cuanto a su criterio de diseño. Aunque el diseño de antenas en el sentido más estricto significa un diseño eléctrico, en realidad incluye un área más amplia, por lo que es importante analizar las especificaciones de hardware de las antenas para los requerimientos del sistema. A fin de determinar las especificaciones de hardware es necesario una representación y evaluación que compare las características

eléctricas y mecánicas y que permita analizar la relación entre el desempeño y el costo de la antena. Las consideraciones de costo y desempeño son algunas veces el primer paso mientras que la determinación del diseño eléctrico y mecánico son el segundo paso.

En el diseño de antenas prácticas, es importante estimar como será instalada la antena después de su construcción, ya que el precio de instalación puede ser en algunos casos mayor que el costo de una antena en sí, téngase en cuenta el costo de instalación de la antena de una estación base en el caso de antenas vehiculares. Por esta razón es importante considerar no solo la reducción del costo de producción de la antena, sino también la creación de antenas cuyo diseño sea de fácil instalación. En este sentido las antenas on-glass son muy superiores por la facilidad de su montaje.

Las antenas de las estaciones móviles son clasificadas en dos categorías:

- antenas para montajes móviles (vehículos).
- antenas para montajes en los equipos de radio portátil.

Las antenas para estaciones móviles son más independiente de los parámetros del sistema que las antenas de estaciones bases y deben ser diseñadas para un manejo fácil y a conveniencia del cliente. Debido a que las antenas de comunicaciones móviles no son diseñadas para

operar en condiciones de espacio libre, pero si en ambientes multitrayectos, su ganancia o patrones de radiación deben ser específicos para estos tipos de sistemas, por lo tanto, la ganancia de la antena o los modelos de radiación especificados para el diseño del sistema deben hacerse teniendo en cuenta las condiciones medio ambientales. Por consiguiente no es, necesariamente, significativo para una antena tener un buen funcionamiento en el espacio libre si su desempeño sufre una degradación en entornos multitrayecto (Fujimoto & James., 2010) (Wu ; Wu ; Bi & Litva J., 2011) (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

### **Problemas de la Propagación.**

La propagación en las comunicaciones móviles ocurre dentro de una región de difracción y no es una propagación en el espacio libre. Las pérdidas por propagación en espacio libre son simples y proporcionales al cuadrado de la distancia, pero en las comunicaciones móviles depende de varios factores, tales como las condiciones de propagación, la altura de las antenas y la frecuencia. Es importante definir claramente tales términos para poder discutir los problemas de la propagación.

La altura de la antena de la estación móvil queda definida como la altura de la tierra en el punto donde se encuentra ubicado el móvil.

Las condiciones de propagación en las comunicaciones móviles son muy complejas, pero pueden ser categorizadas en tres tipos:

- Zona rural: existen pocos obstáculos en el trayecto de propagación. Se considera condiciones de espacio libre en un área de 300 a 400 m entre la estación base y la móvil.
- Zona suburbanas: existen algunos obstáculos alrededor de la estación móvil pero no son muy densos, áreas de árboles y casas pequeñas.
- Zona urbana: existen muchas construcciones y otros tipos de estructuras muy altas, se habla de área cerrada, un área densamente ocupada por grandes estructuras y árboles altos. (Fujimoto & James., 2010)

### **Tendencias actuales en la investigación de la propagación**

Los sistemas de comunicaciones móviles terrestre avanzan rápidamente en capacidad y calidad mientras el mundo avanza hacia la digitalización. Los estudios de propagación en sistemas móviles han contribuido al desarrollo de los mismos, lo que ha traído consigo un realce de los sistemas actuales, contribuyendo a la aparición de sistemas íntegramente nuevos de comunicaciones móviles. Con el objetivo de aumentar el número de clientes se han desarrollado métodos para incrementar el número de canales de radio y lograr una utilización más efectiva del espectro de frecuencia. Para

incrementar el número de canales de radio nuevas bandas de frecuencia en la región de 1.5 a 3.0 GHz han sido asignadas a los servicios de comunicaciones móviles.

Para una utilización más efectiva del espectro de frecuencia las ondas de radio necesitan ser confinadas en áreas pequeñas. Esto se puede lograr a través de la inclinación del haz de la antena de la estación base y el uso de la zona sectorizada.

Los efectos de estas técnicas se aclararon y aplicaron en el sistema actual de teléfonos en automóviles en áreas urbanas. Este sistema emplea una inclinación del haz de 2 a 5°, celdas con un radio de 1.5 km y zonas sectorizadas a 120°. La diversidad de recepción la cual es efectiva para disminuir el ruido térmico y la interferencia cocanal fue investigada, y los coeficientes de correlación entre las antenas tanto para la diversidad espacial como de polarización se obtuvieron teórica y experimentalmente, estos sistemas emplean las técnicas de diversidad en las estaciones bases y en las móviles.

### **Técnicas de antenas en la estación base.**

Para que la estación base se comunique con las estaciones móviles que se localizan en el área de servicio, la energía de la onda de radio se debe radiar uniformemente dentro del área.

Además la ganancia de la antena debe ser tan alta como sea posible. Partiendo de que la amplitud del área de servicio ya está especificada no se puede aumentar la ganancia de la antena estrechando el haz en el plano horizontal. Por lo tanto se hace necesario estrechar el haz de la antena en el plano vertical para aumentar su ganancia; para lograr esto es necesario la utilización de antenas direccionales dispuestas verticalmente. Los sistemas celulares normales utilizan antenas con una ganancia de 7 a 15 dBi en las estaciones base. Para que la antena de la estación base se comuniquen simultáneamente con varias estaciones móviles se deben operar varios canales, lo cual requiere antenas de un determinado ancho de banda y funciones para combinar los canales. Si la antena es compartida por varios sistemas (ejemplo un teléfono móvil terrestre analógico y un teléfono móvil terrestre digital) se requiere en este caso de antenas con anchos de bandas mayores. Para ser compatible con las regulaciones existentes en cuanto a utilización del espectro de frecuencias, el ancho de banda para un sistema móvil terrestre de 800 MHz varía de 810 a 960 MHz. Así para cubrir este ancho de banda con una antena se necesita un 17% de ancho de banda. Cuando la antena transmite y recibe, la intermodulación pasiva aparece y esto provoca un aumento de la interferencia. Aunque los sistemas celulares tienen sus ventajas en relación

a la reutilización de frecuencia, esta eficiencia depende significativamente del patrón de radiación de la antena de estación base.

Una de las características más comunes de las comunicaciones móviles es que la estación base y la móvil, no se encuentren en la generalidad de los casos dentro de la línea de la visual, lo cual hace que el ambiente de propagación sea complejo, dado por los desvanecimientos que constantemente ocurren los cuales hacen que los niveles de señal fluctúen entre 10 dB o más.

Una tecnología para evitar el desvanecimiento es la recepción por diversidad la que ha sido estudiada desde los años 60 y su efectividad ha sido comprobada teóricamente y prácticamente. (Fujimoto & James., 2010)

### **Tipos de antenas.**

Las configuraciones de antenas de estación base depende de la forma y el tamaño del área de servicio, del número de celdas y del número de canales. En un sistema de comunicación móvil privado cuya área de servicio es pequeña la antena de estación base es tan pequeña como la antena vehicular utilizada en los sistemas de teléfono de automóviles. Si el área de servicio está limitada dentro de un ángulo restringido en el plano horizontal, se emplea en ocasiones una antena reflector plano esquinado.



Cuando el área de servicio es amplia como en un sistema telefónico marítimo o uno aeronáutico, arreglos lineales de antenas son empleados, los cuales tienen gran directividad en el plano vertical, en la mayoría de los casos son uniformemente excitadas.

En la fase inicial del desarrollo del sistema celular la longitud de la antena de estación base se determinaba por la ganancia requerida. Para lograr una ganancia mayor era usual que una antena direccional se excitara uniformemente. Sin embargo con el objetivo de reutilizar la frecuencia con mayor eficiencia las celdas deben subdividirse. Dada esta situación es más importante para la antena de estación base contar con una elevada relación entre las potencias de señal deseada y no deseada que tener una alta ganancia de la antena. Experimentalmente se ha demostrado que inclinando el haz principal tanto mecánica como eléctricamente la interferencia cocanal puede reducirse aproximadamente 10 dB, se reconoce que la inclinación del haz es esencial para potenciar la utilización de la frecuencia. La supresión de los lóbulos laterales adyacentes al haz principal, lo cual se logra sintetizando los patrones direccionales de la antena en forma adecuada, es también efectivo para disminuir la distancia de reutilización de la frecuencia. Es muy común la utilización de la diversidad espacial en la cual dos antenas se separan de 5 a 10 longitudes de onda.

Los diferentes tipos de esquemas de diversidad, tales como la diversidad de patrón o la diversidad de polarización se han estado implementando en las antenas de las estaciones bases y son utilizadas en sistemas comerciales.

## **Capítulo 2**

### **Diseño de antena de haz conformado.**

Las técnicas de conformación del haz facilitan en gran medida la reutilización de las frecuencias. La antena de una estación base en un sistema celular debe radiar energía al nivel más bajo posible hacia la celda donde se utiliza la misma frecuencia. De forma recíproca se requiere iluminar el área de servicio al nivel más alto que sea posible.

Existen dos tipos de antenas de haz conformado: una le da forma al patrón de radiación en el plano horizontal por lo que se necesita un haz de sector y la otra le da forma al patrón en el plano vertical por lo que se necesita un haz cosecante. La inclinación del haz principal no es realmente una técnica del haz controlado pero partiendo que el propósito es el mismo, la configuración simplificada de la antena y las mediciones realizadas de su funcionamiento serán presentadas. Primero se explica la relación entre la distancia de reutilización de la frecuencia y el patrón de radiación de la antena. Segundo se describe el diseño de una antena de haz sectorial y por último se describe el diseño de una antena de haz conformado en el plano vertical para un arreglo lineal de antena direccional. Esta sección limita la discusión acerca del diseño de haz conformado para aplicaciones específicas en los sistemas móviles celulares.

### **Distancia de reutilización de la frecuencia.**

Se deriva:

$$N = 1.3(D/R)^2$$

Dónde:

N: número de celdas.

R: radio de la celda.

D: distancia centro a centro entre celdas adyacentes (distancia de reutilización de frecuencia).

El valor peor de la relación portadora a interferencia (CIR) aparece en el borde de la celda y se da por:

$$CIR = \alpha 10 \text{LOG} \left( \frac{R}{(D - R)} \right)$$

Dónde:

$\alpha$  : es la constante de atenuación.

En la segunda ecuación no se incluye la diferencia del patrón de la antena entre la dirección de la onda deseada  $(\theta_d, \varphi_d)$  y la dirección de la onda de interferencia  $(\theta_t, \varphi_t)$  que se expresa en dB.

$$CIR = \alpha 10 \text{LOG} \left( \frac{R}{(D - R)} \right) + \left( \frac{C}{I} \right)_{\text{ant}}$$

$$\left( \frac{C}{I} \right)_{\text{ant}} = \frac{P(\theta_d \cdot \varphi_d)}{P(\theta_t \cdot \varphi_t)}$$

Si la dirección de interferencia se acerca a la dirección deseada (N se hace pequeña) las líneas de interferencia pueden existir en el haz principal así como también en la dirección deseada.

Para aumentar (C/I) de la antena en este caso, es necesario aumentar la longitud de la antena o estrechar la amplitud del haz principal con técnicas de conformación del haz, sin incrementar la longitud de la antena.

### **Haz sectorial.**

El patrón horizontal de la antena de estación base es casi siempre omnidireccional sin embargo un haz sectorial puede cubrir un área de servicio de forma efectiva si el área de servicio no es circular. Los sistemas celulares logran menores distancias de reutilización de la frecuencia con un arreglo sectorial que con un arreglo de zona circular. De ahí que los arreglos sectoriales sean utilizados en los actuales sistemas telefónicos de automóviles.

Una antena de haz sectorial típica es la antena reflector plano esquinado. Esta antena tiene la ventaja que la amplitud del haz puede ajustarse controlando la abertura del ángulo del reflector, además logra una alta directividad al estrechar el haz principal en el plano vertical y puede radiar un haz conformado controlando el coeficiente de excitación.

Los haces sectoriales con amplitud de haz entre  $60^\circ$  y  $180^\circ$  pueden obtenerse disponiendo del ángulo de abertura desde  $60^\circ$  a  $270^\circ$ . Cuando el ángulo de abertura es de  $180^\circ$  la amplitud del haz es aproximadamente  $120^\circ$ . Para obtener un haz de sectorial con una amplitud mayor que  $120^\circ$  se necesita un reflector esquinado con un ángulo de abertura

mayor que  $180^\circ$ . Si dos antenas de haces sectoriales de  $180^\circ$  de amplitud de haz se combinan con un espaciado adecuado generalmente mayor que  $6\lambda$  se obtiene un patrón omnidireccional. En el caso de las antenas de haz sectorial se ha reportado un método de diseño de frecuencia dual. Para realizar una antena de frecuencia dual es necesario preparar un radiador primario de frecuencia dual esto es posible colocando un dipolo con un elemento parásito dispuesto cercanamente. Esa antena tiene la ventaja de ser muy compacta. Cuando se utiliza el radiador primario se obtienen haces sectoriales de igual amplitud para las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . (Kraus & Marhetka, 2009)

### **Conformación del haz en el plano vertical.**

Si la pérdida de la trayectoria es mayor que la que ocurre en un espacio libre como en el caso de los sistemas de comunicaciones móviles, el significado de un haz conformado específicamente en los celulares puede ser mayor en la supresión de la radiación hacia la celda donde la misma frecuencia es reutilizada que para iluminar la misma zona uniformemente.

Si las frecuencias son reutilizadas y las celdas están dispuestas cercanas unas a otras una parte del haz principal ilumina la celda que reutiliza la frecuencia por lo tanto pudiera ser efectivo inclinar el haz principal hacia abajo para suprimir la interferencia. Aun cuando el nivel de señal recibido dentro de la misma zona se debilita al reducir la amplitud del haz principal para mantener la longitud de la antena es posible

incrementar  $(C/I)_{ant}$ . La idea principal de la técnica de la inclinación del haz es inclinar el haz principal para disminuir el nivel de señal interferente en la dirección de la carga donde se reutiliza la frecuencia y aumentar la relación  $(C/I)_{ant}$ . En este caso el nivel de portadora disminuye en el borde de la zona, sin embargo el nivel de interferencia disminuye más que el nivel de portadora así el total  $(C/I)_{ant}$  aumenta. Esto es una ventaja desde el punto de vista del diseño del sistema y esta técnica es utilizada en la mayoría de los sistemas celulares del mundo. (Kraus & Marhetka, 2009)

### **Haz conformado con un nivel de lóbulo lateral suprimido.**

La supresión del lóbulo lateral debe realizarse con cuidado partiendo de que está localizado cercano a la dirección del haz principal y el nivel del lóbulo lateral está muy relacionado a la amplitud del haz principal. Kijima obtuvo un haz principal, el 30% más estrecho que uno excitado uniformemente suprimiendo solamente varios lóbulos laterales cerca del haz principal y disponiendo los otros lóbulos laterales a un nivel comparativamente alto. Una antena con este patrón de radiación puede aumentar el nivel en el borde de la zona en aproximadamente 1.5 dB si el nivel de interferencia es constante.



## **Diversidad**

### **Configuración de las antenas de diversidad en la estación base.**

Las antenas de diversidad se disponen con incrementos angulares de  $120^\circ$  en algunos países y en otros los sistemas se componen de 6 antenas sectoriales con amplitud de haz de 3 dB y  $60^\circ$  y el puerto con mayor nivel de recepción se selecciona para cubrir la línea límite de la zona .

Se emplean tres tipos de configuraciones de diversidad:

- Diversidad de espacio.
- Diversidad de patrón.
- Diversidad de polarización.

La que más se utiliza es la de diversidad de espacio. Esta configuración ubica las dos antenas a  $90^\circ$  una de otra. Mientras que en las antenas de haz de sector de  $180^\circ$  para sintetizar un patrón omnidireccional, que se ubica en espacios apartes, los centros de las antenas omnidireccionales coinciden con el centro de la plataforma y el espacio entre las dos antenas es cero. Cuando el espacio de una antena de haz sectorial de  $180^\circ$  es de  $\lambda$ , las mediciones han demostrado que el coeficiente de correlación entre las dos antenas es menor que 0.2 en áreas urbanas.

El elemento de esta antena es una antena de microcinta de disco circular con dos puertos de alimentación para la recepción de diversidad, los cuales

son ortogonales. El coeficiente de correlación es suficientemente bajo, 0.2 en zonas urbanas. No obstante como resultado de esta onda incidente mayormente polarizada verticalmente la potencia recibida en cada puerto difiere considerablemente, el mejoramiento de la potencia recibida no es tan grande como el que se logra en otros esquemas de diversidad, se utiliza solamente donde es limitado el espacio de instalación. (Fujimoto & James., 2010)

### **Espaciamiento horizontal para la diversidad.**

La relación entre el espacio de una antena y el coeficiente de correlación en áreas urbanas y suburbanas, es de la siguiente forma. Las alturas de las antenas son 120 m, 45 m y 65 m. De aquí que el espacio entre las antenas debe ser más grande que  $5 \lambda$  en áreas urbanas para lograr un coeficiente menor que 0.6, mientras que más de  $20 \lambda$  se requiere para áreas suburbanas, se entiende por demás que el coeficiente de correlación aumenta con la altura de la antena.

### **Espaciamiento vertical para la diversidad.**

La diversidad espacial vertical no se ha empleado aún en las estaciones bases de los sistemas de comunicaciones móviles, es típico su empleo en las antenas de estaciones móviles. Sin embargo un coeficiente de correlación suficientemente bajo se puede obtener cuando la altura de la antena está por encima de la altura promedio de las edificaciones existentes. Esto puede ser práctico en un área urbana.

## **Técnicas de antenas de estación móvil.**

Las antenas móviles deben diseñarse para reducir la potencia de transmisión del equipo de radio móvil satisfaciendo a la vez la calidad de servicio requerido ejemplo (calidad de escucha, cobertura de servicio). Un diseño óptimo permite obtener pequeñas unidades de teléfonos móviles que a la vez son económicos.

## **Requerimientos del sistema y funcionamiento de la antena.**

La primera generación de sistemas de radios móviles celulares fueron sistemas analógicos que utilizaron bandas de 400 MHz o de 800-900 MHz. Los requerimientos para las antenas incluyen la frecuencia de operación, ancho de banda, directividad, características del patrón, polarización y la base de recepción de diversidad. Los requerimientos de operación de frecuencia, ancho de banda, y directividad de las antenas son diferentes en los sistemas de cada país. Partiendo de que una estación móvil típica se mueve al azar en una zona de radio que requiere de un patrón de azimut direccional para antenas móviles. En particular en las áreas suburbanas la estación base y la móvil logran el enlace a través de la línea de la visual de ahí que si el patrón de antena no fuera omnidireccional el nivel de señal recibido pueda variar considerablemente. Por tanto las antenas omnidireccionales se requieren en sistemas radio móviles. Resultados experimentales en ambientes urbanos y suburbanos indican que las ondas que llegan

extendidas de 0-50° en elevación son muy comunes ya que el ángulo de elevación medio de su distribución depende del ambiente, una antena móvil cuyo ángulo de elevación de radiación máximo pudiera ajustarse al ángulo de elevación medio de la distribución de onda de incidencia, asegura la potencia de recepción máxima. Sin embargo en el presente la práctica demuestra que el patrón de radiación debe ser máximo en la dirección horizontal. Es común el empleo de la polarización vertical en la mayoría de los sistemas móviles porque permite desarrollar con facilidad antenas omnidireccionales de banda ancha, antenas dipolos y fijas, se sabe que la recepción de diversidad es muy efectiva para contrarrestar el desvanecimiento multitrayecto. No obstante en la mayoría de los sistemas móviles celulares la recepción de diversidad es una tecnología opcional dentro de las especificaciones del sistema. (Fujimoto & James., 2010)

### **Tipos de antenas.**

- **Antena sleeve.**

En una antena sleeve el centro conductor de un cable coaxial se conecta a un elemento cuya longitud es un cuarto de la longitud de onda y el conductor externo del cable coaxial se conecta a una cubierta cilíndrica cuya longitud es un cuarto la longitud de onda. Esta envoltura cilíndrica coaxial funciona como un regulador de  $\lambda/4$  y así la mayor cantidad de corriente de la antena no sale a la superficie exterior del cable coaxial. Al adicionar reguladores en la parte inferior del cable

coaxial mejora el patrón de radiación y evita la salida de corriente de la envoltura. Como resultado esta antena tiene casi las mismas características que la antena de dipolo  $\lambda/2$ . Esta antena no requiere de un plano terrestre de esta forma la degradación de la ganancia es menor que la experimentada en las antenas monopolo de  $\lambda/4$ .

- **Antena monopolo de  $5/8 \lambda$ .**

Estas antenas tienen una directividad mayor en la dirección horizontal. Por ello esta antena generalmente se utiliza como una antena de alta ganancia en combinación con un plano de tierra. El elemento de antena es casi siempre un material flexible y por ello también se llama antena de  $5/8 \lambda$  flexible. La razón por la cual su ganancia es mayor que la de la antena monopolo  $\lambda/4$  es que la abertura de la antena es mayor y la elevación del haz de radiación es menor que la de la antena monopolo  $\lambda/4$  dado porque el plano terrestre es finito.

- **Antena colineal.**

Una vía fundamental de realizar una antena de alta ganancia es formar un arreglo colineal en la cual varios elementos radiadores colineales se alimentan en fase. La longitud de los elementos radiadores es casi siempre  $\lambda/2$  y los espirales de carga para el logro de una alimentación en fase se insertan entre los elementos del radiador. Este tipo de antena también se conoce como antena de carga y se adopta en ocasiones como una antena vehicular para el uso de radio aficionados. En

estas antenas la alimentación en fase depende de la longitud de los radiadores y la distancia entre ellos. Su ancho de banda es generalmente estrecho, por lo que no es aconsejable su empleo en sistemas de comunicaciones móviles de banda ancha. Sin embargo pueden utilizarse en sistemas de banda estrecha tales como el TDMA. Su ganancia directiva es teóricamente 3 dB mayor que la de un dipolo de media longitud de onda. (Sakitani & Egashira, 2013)

### **Antenas vehiculares de frecuencia dual.**

Para satisfacer el rápido crecimiento de los teléfonos móviles se hace necesario en ocasiones adicionar una nueva banda de frecuencia al sistema existente por ejemplo si la banda de 800 MHz se satura, se necesita aumentar el número de canales utilizando una nueva banda de frecuencia de banda como la de 1.5 GHz. Para este caso la estación móvil usualmente requiere de dos antenas un para cada banda de frecuencia. Si una antena sencilla puede operar en bandas de frecuencia dual el sistema pudiera expandirse fácilmente. Si se le agrega un elemento parásito cuya longitud corresponda a  $\lambda/2$  de la frecuencia mayor, la antena dipolo, logra una operación de frecuencia dual. Una antena que se diseña para operar en la banda de 800 MHz es el dipolo impreso con carga capacitiva. Para hacer posible la operación de frecuencia dual se le agrega un elemento parásito cerca del excitador de la antena original. Las dimensiones de las antenas son aproximadamente de 90 mm de ancho, 70 mm de profundidad y una altura de 60 mm. Esta puede

ubicarse en la parte trasera del espejo retrovisor. (Fujimoto & James., 2010)

### **Antenas de sistemas compatibles.**

Cuando se expande la cobertura de telefonía móvil a nivel internacional es ineficiente cubrir el área de servicio utilizando un solo sistema móvil terrestre como es el sistema móvil celular. Un sistema por satélite es mucho más eficiente para cubrir un área amplia donde existen pocas estaciones móviles.

Es común que el sistema móvil terrestre y el sistema por satélite utilicen diferentes frecuencias y diferentes estados de polarización. Además el patrón de antenas que se requiere para estaciones móviles individuales en cada sistema puede diferir.

La Motorola anunció un sistema de teléfono portátil que utiliza satélites de baja órbita. Este requiere de una antena compatible con el sistema móvil terrestre y el sistema de satélite móvil sería entonces un reto. Esto indica la necesidad de una antena compatible al sistema para realizar duales sofisticados.

### **Antenas para teléfonos portátiles.**

A consecuencia de la capacidad de carga limitada, la potencia de transmisión de las unidades de teléfonos portátiles deben ser menores que la de las unidades de teléfono vehiculares. Además la ganancia de la antena es generalmente menor que la de las unidades telefónicas vehiculares porque solamente se utilizan pequeñas antenas que sufren degradación en la

ganancia debido a la cercanía al cuerpo humano. Bajo estas condiciones, los requerimientos de la antena para unidades de teléfonos portátiles deben desarrollar la mayor ganancia posible en el ancho de banda requerido. Al mejorar la ganancia efectiva de la antena se puede reducir el tamaño y peso de las unidades de teléfonos portátiles.

Existen algunas características distintivas de las antenas que se agrupan en unidades telefónicas portátiles. La primera característica es que la dirección de la polarización y el patrón de radiación no están fijos porque la unidad telefónica portátil es orientada aleatoriamente cuando se utiliza.

La segunda característica es que su patrón de radiación y eficiencia de radiación varían considerablemente cuando está cercana al cuerpo humano.

Análisis teóricos realizados consideran la variación del patrón de radiación debido al efecto de la cubierta de la unidad, la degradación de la eficiencia de la radiación de la antena debido al efecto de proximidad del cuerpo humano, y la variación del patrón y la polarización debido a la manipulación humana.

Es importante tener en cuenta y determinar las características siguientes para diseñar una antena:

- La ganancia efectiva en un ambiente de propagación de multitrayecto.
- La ganancia efectiva cuando la unidad portátil se opera en las posiciones de hablar, trasladar y discar.



**Antena Colectiva:**

Antena receptora que, mediante la conveniente amplificación y el uso de distribuidores, permite su utilización por diversos usuarios

**Antena de Cuadro:**

Antena de escasa sensibilidad, formada por una bobina de una o varias espiras arrolladas en un cuadro, cuyo funcionamiento bidireccional la hace útil en radiogoniometría

**Antena de Reflector o Parabólica:**

Antena provista de un reflector metálico, de forma parabólica, esférica o de bocina, que limita las radiaciones a un cierto espacio, concentrando la potencia de las ondas; se utiliza especialmente para la transmisión y recepción vía satélite.

**Antena Lineal:**

La que está constituida por un conductor rectilíneo, generalmente en posición vertical.

**Antena Multibanda:**

La que permite la recepción de ondas cortas en una amplitud de banda que abarca muy diversas frecuencias

**Dipolo de Media Onda:**

El dipolo de media onda lineal o dipolo simple es una de las antenas más ampliamente utilizadas en frecuencias arriba de 2MHz. En frecuencias abajo de 2 MHz, la

longitud física de una antena de media longitud de onda es prohibitiva. Al dipolo de media onda se le refiere por lo general como antena de Hertz.

Una antena de Hertz es una antena resonante. O sea, es un múltiplo de un cuarto de longitud de onda de largo y de circuito abierto en el extremo más lejano. Las ondas estacionarias de voltaje y de corriente existen a lo largo de una antena resonante.

### **Antena Yagi:**

Antena constituida por varios elementos paralelos y coplanarios, directores, activos y reflectores, utilizada ampliamente en la recepción de señales televisivas. Los elementos directores dirigen el campo eléctrico, los activos radian el campo y los reflectores lo reflejan.

Los elementos no activados se denominan parásitos, la antena yagi puede tener varios elementos activos y varios parásitos. Su ganancia esta dada por:

$$G = 10 \log n$$

donde n es el número de elementos por considerar <sup>1</sup>

## **Técnicas y consideraciones de los diseños de antenas usadas en teléfonos portátiles**

La tendencia de la tecnología de teléfonos portátiles en los últimos años ha sido la dramática reducción en el tamaño y el peso de la unidad. En 1984, los teléfonos celulares portátiles tenían cerca de 570 centímetros cúbicos de volumen (incluyendo baterías) y pesaban

---

<sup>1</sup> <http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html>

cerca de 850 gramos. Sólo 7 años después, los teléfonos celulares portátiles tienen un volumen de 190 centímetros cúbicos y pesan menos de 220 gramos. Estos cambios tan dramáticos en el volumen y en el peso han ido acompañados una rápida evolución de las antenas usadas para estos teléfonos. Los esfuerzos de diseño han sido el mantener aproximadamente el mismo desempeño de la antena en términos de ganancia, cobertura, y ancho de banda a la par de los rápidos requerimientos de reducción del tamaño. Serán analizadas las antenas que operan en la banda de los 800 a los 1000 MHz, la cual cubre la mayoría de los sistemas celulares actuales. Estas antenas se pueden usar a frecuencias mayores simplemente reduciendo su tamaño.

Los principales factores que afectan el diseño de las antenas de teléfonos celulares portátiles son el amplio ancho de banda relativo (~10%), necesidad de pequeño tamaño y necesidad de proveer cobertura uniforme sobre el ángulo azimutal. Los requerimientos de cobertura y tamaño son contradictorios en cuanto al hecho de que la antena se mantiene cerca de la cabeza del usuario, la cual es aproximadamente una elipse dieléctrica absorbente con el eje mayor de una longitud de onda. La cabeza del usuario absorbe y dispersa la energía electromagnética que se genera de la antena, así que la cobertura azimutal nunca es uniforme, si la cabeza está cerca del radiador de energía. Una manera sencilla de lograr la cobertura

azimutal uniforme es elevar la antena por encima de la cabeza del usuario.

Esta solución requiere una estructura de soporte no radiadora para la antena de aproximadamente 15 cm de largo. La antena, en este caso un dipolo de media onda o algo similar, con una longitud aproximada de 15 cm, lo cual da un total de 30 cm en la antena y el soporte. Este tamaño no es aceptable, dado que la máxima longitud del celular debe ser de 25 cm, que es la distancia aproximada que hay entre la boca y las orejas de un adulto. Una estructura de 30 cm presentaría serios problemas mecánicos en el volumen tan pequeño de los celulares. Estructuras alternativas requerirían la separación del radio de la antena, que se colocaría en un sombrero, o alguna clase de soporte montado en la cabeza, lo cual no sería aceptado por el usuario, pues resultaría impráctico. Hasta ahora, solamente antenas relativamente pequeñas han logrado aceptación en el mercado de celulares de tan rápido crecimiento. Se analizarán 4 tipos de antenas:

- El dipolo cubierto.
- Antena helicoidal.
- Antena de lazo de un cuarto de onda.
- Antena dipolo helicoidal.

Estas antenas representan la mayoría de las antenas radiadoras usadas en la tecnología de teléfonos celulares. (Fujimoto & James., 2010)

## **Tipos de antenas.**

- **Dipolo cubierto.**

Este tipo de antena es esencialmente un dipolo de media onda alimentado en un extremo por una línea coaxial. La estructura tiene una simetría cilíndrica, por lo que en el espacio libre posee una excelente uniformidad en el patrón de radiación en azimut. La estructura de radiación es un dipolo asimétrico hecho de conductores de diferentes diámetros y de, ligeramente, distintas longitudes. El radiador es más delgado y es, por lo general, el conductor interno de la línea coaxial que alimenta a la antena. Este conductor debe tener una apropiada longitud para lograr un buen desempeño de la antena en la banda de operación (800 a 900 MHz). El conductor, de diámetro mayor, tiene una función crítica en la operación adecuada de la antena y se debe diseñar con mucho cuidado. El conductor de diámetro mayor debe proveer obturación efectiva de las corrientes de RF en su extremo abierto y también a la mitad del dipolo radiador.

- **Antenas helicoidales.**

Estas antenas son usadas normalmente en radios portátiles en las bandas de baja frecuencia (30 a 150 MHz), con el fin de reducir el tamaño del radiador a longitudes confortables. Con una adecuada selección de parámetros, el dipolo helicoidal de modo normal, tiene una estructura de radiación eficiente, con

desempeño de patrón y de ganancia similar a los dipolos de media onda.

El ancho de banda de un dipolo helicoidal pequeño y eficiente es menor que el ancho de banda de una antena de media onda debido a su factor Q más alto, que depende del número y diámetro de las vueltas de la antena. La aplicación de las antenas helicoidales en la banda de los 800 a 900 MHz, además de la pérdida de ganancia, presenta otra desventaja respecto a su uso en frecuencias menores.

Si el encapsulado es más largo que un cuarto de longitud de onda, parte de las corrientes del encapsulado estará en oposición con las corrientes de la antena dando como resultado pérdida de ganancia en el horizonte. Los primeros modelos de celulares portátiles tienen un encapsulado de unos 20 cm de largo. En lo que se refiere a mediciones en el patrón de radiación de la antena helicoidal de un teléfono portátil cerca de la cabeza de un humano, muestra una pérdida de ganancia promedio de unos 12 dB con respecto a un dipolo en el espacio libre de media onda.

Las pérdidas en el patrón de radiación y en RF causan que las antenas helicoidales sean difíciles de usar en las aplicaciones de radio celular en la banda de 800 a 900 MHz, excepto por el tamaño reducido de la antena, lo cual las hace muy atractivas para aparatos pequeños. La mayoría de los problemas que existen para las antenas helicoidales se presentan en las antenas de lazo

de un cuarto de onda, aunque su patrón de radiación es ligeramente más eficiente.

Debido a que no existe una verdadera ventaja en usar antenas de lazo de un cuarto de onda sobre las antenas helicoidales, las antenas de lazo han gozado de aceptación en el mercado de los teléfonos portátiles. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

### **Diversidad de antenas.**

El pobre desempeño de las antenas helicoidales para teléfonos portátiles pequeños en la banda de 800 a 900 MHz ha forzado a los diseñadores a fabricar un radiador alternativo para las antenas helicoidales pequeñas. Las antenas usan dos hélices:

- Una hélice primaria fija de aproximadamente 2 cm de largo (longitud eléctrica de un cuarto de onda).
- Una hélice resonante secundaria de unos 10 cm (longitud eléctrica de media onda) que puede ser comprimida en el encapsulado del radio.

Una vez que son extendidas, la hélice secundaria se convierte en el radiador dominante, debido a que es libre de pérdidas causadas por la mano del usuario que sostiene el aparato. La hélice secundaria es alimentada por la antena primaria y presenta un excelente desempeño en el espacio libre, dependiendo de su propia longitud y de las pérdidas debidas a la resistencia en el alambre de metal de que está hecha la hélice. En el extremo de la antena secundaria hay una barra dieléctrica de 2 cm de largo para desacoplar las dos hélices, cuando la antena secundaria se encuentra

retractada, logrando de esta manera que la inducción de RF sea mínima en el encapsulado a través de esa trayectoria. Este arreglo especial ha proporcionado una mejora en el rango de comunicación en los teléfonos de bolsillo con antenas helicoidales. Aunque el desempeño de estas antenas está lejos de ser el óptimo, el teléfono celular de bolsillo se ha vuelto extremadamente popular, lo cual demuestra que la perfección en la ingeniería no es siempre una condición para lograr éxito en el mercado. (Fujimoto & James., 2010)

### **Sistemas de antenas para teléfonos portátiles.**

Las dos principales características de diseño de cualquier antena para teléfono portátil son:

- Debe estar montada en el encapsulado del teléfono portátil.
- Durante la operación el aparato será manipulado por un humano, quién lo apuntará aleatoriamente hacia cualquier dirección.

Debido a que la antena se coloca muy próxima al encapsulado, la corriente de la antena se induce no sólo en la antena misma, sino también en la parte conductora del encapsulado. Esta corriente de dispersión cambia la forma del patrón de radiación original. La eficiencia de radiación se degrada posteriormente por la proximidad de la antena al cuerpo humano, pues la antena necesariamente se usa cerca de un operador.

La polarización del patrón de radiación también es afectada por los cambios en la dirección de la antena



causados por los movimientos del operador. Estas dificultades de diseño imperativas se complican debido a la necesidad de desarrollar antenas muy pequeñas para cumplir con las demandas de equipos compactos y portátiles; la eficiencia de radiación y el ancho de banda se degradan conforme el tamaño de la antena se reduce. Además de estas imperativas de diseño, que no son comúnmente encontradas en aplicaciones de telefonía portátil, las consideraciones típicas como la seguridad del ancho de banda de la frecuencia especificada y la necesidad de sustentar la diversidad en la recepción de la antena deben tomarse en cuenta. El principal problema que debe ser tratado es la ganancia efectiva de las antenas en un ambiente de propagación de multitrayecto. La clave está en el estudio de estos temas de manera sistemática y maximizar la ganancia efectiva lo más que sea posible en el rango de frecuencias deseado. Una alta ganancia efectiva permite que el tamaño y el peso se puedan reducir, mientras que el tiempo de uso se incrementa. No solamente permite que el teléfono portátil sea usado en áreas de baja intensidad de campo eléctrico, sino también permite que la potencia transmitida se reduzca. Esta reducción en la potencia transmitida es extremadamente efectiva en la reducción de la capacidad de la batería (el peso del teléfono portátil) o la extensión del tiempo de uso de la batería. Por lo tanto, la ganancia efectiva de las antenas montadas en un teléfono portátil debe ser examinada para desarrollar

aparatos telefónicos pequeños y de alto desempeño.  
(Fujimoto & James., 2010)

## **Sistemas de comunicaciones móviles**

### **PMR**

Sistema PMR proviene de "Private Mobile Radio", este sistema utiliza una técnica llamada de concentración de enlaces (trunking), la cuál puede describirse como la conmutación automática de algunos canales en un sistema repetidor multicanal. Son redes de radiocomunicaciones privadas que usan los móviles que llevan esta tecnología y no se conectan con las redes públicas. El sistema PMR son redes para grupos cerrados de usuarios, estas redes son de gran utilidad puesto que nos facilitan que los terminales dentro de un entorno se conecten al centro de control, y luego éste la distribuye de las siguientes maneras: a estación a través de la estación base, fijos mediante línea telefónica.

PMR es una red que funciona en un canal abierto esto quiere decir que desde un despacho los mensajes son recibidos por todos los terminales conectados al canal (por despacho entendemos el intercambio de órdenes y confirmaciones entre el controlador y los móviles (terminal) que se encuentran en los extremos). El sistema PMR destaca la cobertura (en celdas del orden de 10 Km), el acceso es más rápido entre los terminales y el despacho, las llamadas son de corta duración. Las aplicaciones de PMR gestionan las radiocomunicaciones

en flotas que brindan servicios tales como seguridad, bomberos, taxis, etc.<sup>2</sup>

### **Sistemas Troncales (trunking)**

Trunking es un sistema de comparación de varias frecuencias radioeléctricas, de modo que ante una solicitud de comunicación de voz por parte de un terminal móvil, este le asignara un canal libre. Este sistema está identificado por la norma MPT1327 del ministro de correo y telecomunicaciones del Reino Unido desde el año 1988. Utiliza modulación FFSK con tonos de 1800-1200 hz para la señalización en el canal de control, y al modulación de voz sigue siendo analógica en los canales de trafico.

Este sistema es la evolución del sistema radio móvil privado (PMR), surge por la necesidad de mejorar el uso de la restricción de canales radieléctricos disponibles.

El sistema trunking trata de utilizar pocas frecuencias de una forma más eficiente, se decide que la frecuencia ya no pertenezca a un solo grupo de usuarios, si no se disponen un poco de frecuencias portadoras para que éstas puedan ser utilizadas por otro grupo de usuarios.<sup>3</sup>

### **Sistema TETRA**

Sistema TETRA de "Terrestrial Trunked Radio", es la evolución natural de trunking analógico, surge la red trunking digital, donde deja de lado la modulación analógica y se introduce al mundo de la modulación

---

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas\\_de\\_Comunicaciones\\_M%C3%B3viles](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles)

<sup>3</sup> [http://mobilecomunications.blogspot.com/2010/07/sistemas-troncales.html?\\_sm\\_au\\_=iHV0JqDpvpvDWw5w](http://mobilecomunications.blogspot.com/2010/07/sistemas-troncales.html?_sm_au_=iHV0JqDpvpvDWw5w)

digital, tanto para voz como para datos. Con este sistema aprovechamos el recurso limitando de frecuencia disponible, puesto que en un solo canal de RF (frecuencia ascendente y descendente) pueden obtenerse hasta cuatro comunicaciones de voz, esto se da gracias a la técnica TDMA (Time Division Multiple Access).

Tetra es un estándar europeo para poder combinar varios modos de redes, sistemas y servicios. Se considera un sistema de concentración de enlaces de transmisión funcionando con tecnología digital de acceso y transmisión. Los servicios que ofrece TETRA son los siguientes: Modo circuito para datos protegidos, modo circuito para datos sin protección, modo circuito para datos fuertemente protegidos, modo IP, llamada individual, llamada de grupo cerrado de usuarios, entre otros.<sup>4</sup>

### **Sistema GSM (2G)**

GSM viene de "Global System for Mobile Communications" (Sistema Global de comunicaciones Móviles), GSM es un sistema de telefonía netamente digital, originalmente se definió como un estándar europeo abierto para redes de teléfonos móviles digitales que soportan voz, mensajes de texto, datos y roaming. GSM corresponde a la segunda generación (2G) más importante del globo terrestre. El sistema GSM utiliza una variación de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), esto quiere decir que a cada usuario se

---

<sup>4</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas\\_de\\_Comunicaciones\\_M%C3%B3viles](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles)

le asigna un intervalo temporal denominado "slot", en el que su información, normalmente es de voz. Posteriormente en la estación se procesa para formar una única corriente de información, GSM y es el que más se llegó a utilizar entre las tres tecnologías de telefonía móvil (TDMA, GSM y CDMA), este sistema opera a cualquiera de los 900MHz o 1800Mhz de banda de frecuencia. (Huidobro J., 2012)

### **Sistema GPRS (2.5G)**

GPRS que viene de "Global Packet Radio System". Es la evolución del sistema GSM, permite a las redes celulares una mayor velocidad y ancho de banda sobre el GSM. GPRS es un equivalente de ADSL para un teléfono móvil, considerado de la generación 2.5. Este sistema permite una conexión de alta velocidad y capacidad de datos y que esta disponible para navegar páginas WAP, Wireless Application Protocol (protocolo de aplicaciones inalámbricas). El pago en los servicios que nos ofrece este sistema corresponde con la cantidad de datos que son descargados. GPRS también nos permiten navegar páginas a color y tomar parte en mensajes multimedia. La gran mayoría de teléfonos móviles que se lanzaron en el 2003 tiene acceso a la conexión GPRS. Se dice que este sistema fue un puente para pasar a la tecnología UMTS. (Huidobro J., 2012)

### **Sistema UMTS (3G)**

UMTS que viene de "Universal Mobile Telecommunication System", es un sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA), UMTS nació con el

objetivo de ser un sistema multi-servicio y multi-velocidad, esto quiere decir que tiene suficiente flexibilidad para poder adaptarse a transmisiones de datos de diferentes velocidades y requisitos distintos, incluso permite a un usuario el acceso de diversas conexiones de distintos servicios simultáneamente. Por ejemplo, un usuario puede estar enviando un correo electrónico a la vez puede estar descargando archivos de la red, por supuesto que esto dependerá de los servicios que le brinda el operador.

UMTS tiene esta capacidad y flexibilidad que se debe a dos factores. El primero lo encontramos en el acrónimo de WCDMA. La letra W hace razón a Wideband que significa banda ancha, UMTS tiene una banda ancha de 5MHz, esto hace la posibilidad de transferir datos a velocidades de hasta 2Mbps, gracias a esta velocidad podemos acceder a servicios como televisión móvil, videoconferencias, servicios de mapas para la ubicación del usuario y otros.

## **Redes y estándares usados en la telefonía celular <sup>5</sup>**

### **1G (primera generación).**

Es la telefonía analógica tradicional por cables.

### **SD S2G (segunda generación).**

- ✓ Constituye el comienzo de la telefonía celular.

---

<sup>5</sup> <https://norfipc.com/celulares/redes-transmision-datos-usadas-telefonos-celulares.php>

- ✓ Incluye los estándares GSM creado en 1991, 2.5G (GPRS) y 2.75G (EDGE).
- ✓ Se emplean señales digitales entre los dispositivos y las torres incrementando la capacidad.
- ✓ Permite la encriptación de las conversaciones y de los datos enviados digitalmente, de forma tal que solo a quien se le envía puede recibirlos y leerlos.
- ✓ Introduce el uso de los servicios de datos como la navegación WAP, los SMS (mensajes de texto) y MMS (mensajes multimedia).

### **3G (tercera generación).**

- ✓ Se conoce como redes 3G las que permiten una transferencia de datos como mínimo de 200 kbit/s (kilobit por segundo).
- ✓ Incluye las redes 3G, 3.5G (HSDPA) y 3.75G (HSUPA).
- ✓ Comenzó su uso comercial en el 2001, implementándose muy lentamente en la telefonía celular.
- ✓ Posibilitó el auge y uso masivo de los smartphones (teléfonos inteligentes).
- ✓ En el 2008 el iPhone 3G compatible con estas redes salió a la venta, permitiendo la conexión solo disponible en ese entonces en algunas ciudades.
- ✓ Las redes 3G introdujeron el uso en los dispositivos portables, de la TV, video conferencias, elGPS (Sistema de posicionamiento global) y facilitaron la navegación en internet de forma similar a como lo hacemos en una computadora de escritorio.

#### **4G (cuarta generación).**

- ✓ Las redes 4G son los estándares creados para tratar de perfeccionar los usados en 3G.
- ✓ Admiten o mejoran notablemente la televisión de alta definición, en 3D, video conferencias, juegos, servicios de internet en la nube y la transferencia de datos en general.
- ✓ Están disponibles para los móviles desde el 2011.
- ✓ Características de los estándares más usados en las redes móviles

#### **Las redes GSM**

- ✓ GSM es la abreviatura de "Sistema Global para las comunicaciones Móviles".
- ✓ Es el estándar más usado en la telefonía móvil para la transmisión de voz, con el 90% del mercado global y disponible en casi todos los países.
- ✓ Marcó el inicio de las redes 2G.
- ✓ Es el estándar que usamos al hacer una llamada de voz tradicional en cualquier tipo de teléfono.
- ✓ GSM usa distintas bandas de frecuencia (GSM 850, 900, 1800 y 1900), pero todos los teléfonos modernos se ajustan de forma automática a la disponible.
- ✓ El sistema soporta gran cantidad de usuarios ya que se usan varias estaciones, cada una con su antena con un rango de frecuencia determinado.
- ✓ Cada estación se conoce como una celda (cell).
- ✓ Las celdas contiguas de la red usan distintas frecuencias.



### **Las redes GPRS**

- ✓ GPRS (General Packet Radio Service) también llamado 2.5G, es el estándar creado para permitir la transmisión de datos no conmutados (o por paquetes) en la telefonía móvil.
- ✓ Permite velocidades de transferencia de datos entre 56 y 144 kbit/s, aunque en la práctica es similar a la de una conexión por modem en una red analógica por cable.
- ✓ Mediante GPRS es posible en las redes 2G acceder a internet, usar el correo electrónico, los mensajes SMS y MMS y la navegación WAP en dispositivos sencillos.
- ✓ Para usar GPRS en el teléfono el operador de telefonía debe implementarlo para nuestro número, además hay que especificar manualmente en la configuración del dispositivo un APN y en ocasiones un usuario y contraseña.
- ✓ El servicio se cobra por el volumen de información transmitida (en kilo o megabytes) y no por el tiempo de conexión como sucede en GSM.
- ✓ Siempre se puede utilizar el dispositivo como un módem USB al conectarlo a una computadora.

### **Las redes EDGE**

- ✓ EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), algo como "Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM".
- ✓ También se conoce como EGPRS.
- ✓ Es una evolución del estándar GPRS, lanzado en el año 2003.

- ✓ Forma parte de la familia GSM, pero es considerado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) como parte de la tecnología 3G.
- ✓ EDGE permite velocidades de transmisión de más de 300 Kbps en modo de paquetes.
- ✓ "Evolved EDGE" o "EDGE Evolution" es una evolución de este estándar, que permite conectividad en el móvil de hasta 500 kbit/s, similar a un modem ADSL.

### **Las redes HSPA+**

- ✓ Estándar también conocido como Evolved HSPA (HSPA Evolucionado), fue lanzado en el 2008.
- ✓ Mejora considerablemente la capacidad de las redes 3G.
- ✓ Permite hasta 84 Megabits por segundo (Mbit/s) de bajada y 22 Mbit/s de subida.
- ✓ Se espera que supere los 600 Mbit/s.
- ✓ Hay disponible en varios países empresas telefónicas que permiten este modo de conectividad y lo incluyen varios dispositivos.

### **Las redes LTE**

- ✓ LTE es la abreviatura de "Long Term Evolution".
- ✓ Es un estándar de redes inalámbricas de alta velocidad para dispositivos móviles, lanzada en el 2009.
- ✓ Se le conoce como 4G LTE y para algunos simplemente 4G.
- ✓ Está basada en las tecnologías GSM/EDGE y UMTS/HSPA.
- ✓ Incrementa la capacidad y la velocidad de las redes de datos móviles usando la técnica DSP.

- ✓ Soporta la coexistencia con otras redes estándares. Por ejemplo es posible comenzar una descarga de datos y al no existir cobertura, continuar la operación usando GSM/GPRS o redes 3G.
- ✓ Soporta la conectividad, aun moviéndose a alta velocidad, hasta los 500 km/h.
- ✓ Facilita la ampliación, mejora de los servicios y una mayor integración con los protocolos existentes.
- ✓ Los picos de descarga de datos son de casi 300 Mbit/s y subida hasta más de 70 Mbit/s.
- ✓ En la práctica las velocidades que se alcanzan como promedio son 150 Mbit/s de bajada y 50 Mbit/s de subida.

# **Capítulo 3**

## **Resultados y procesos de la investigación**

El trabajo de investigación realizado se basa en los métodos analíticos, deductivo inductivo enfocado en la técnica cuasi experimental.

La aplicación de este método permitió analizar los diferentes tipos de antenas existentes y lograr establecer la antena móvil necesaria para ser aplicada en el desarrollo y aplicación del trabajo de investigación llevado a cabo en el sector rural correspondiente.

Para iniciar con el proceso de investigación y posterior desarrollo se realizó un proceso de observación con el fin de conocer las principales falencias con respecto a las comunicaciones en el sector objeto de estudio, de esta manera se pudo iniciar con el proceso de experimentación y desarrollo aplicables en cuanto a las comunicaciones móviles, con el fin de dar un beneficio que solucione los principales inconvenientes presentes en el área rural.

Para este tipo de trabajo investigativo la técnica utilizada fue la cuasi experimental, partiendo como variable independiente la tecnología empleada por las comunicaciones móviles logrando así conocer como la variable dependiente el uso de antenas móviles para dotar de servicios de comunicación al sector de la Esperanza en su zona rural.

### **Pasos del desarrollo de la Investigación.**

**Paso 1:** Definir las variables dependientes e independientes que se incluirán en el cuasi experimento.

**Paso 2:** En este punto de considero un nivel medio de manipulación de la variable independiente

**Paso 3:** Desarrollar el o los instrumentos para medir las variables dependientes.

**Paso 4: Se** Seleccionó una muestra de la población para el experimento.

**Paso 5: Se** Recluto a los sujetos del cuasi experimento.

**Paso 6:** Seleccionar el diseño cuasi experimental apropiado para nuestras hipótesis, objetivos y preguntas de investigación.

**Paso 7:** Planificar como manejar a los sujetos que participan en el experimento.

**Paso 8:** Analizamos las propiedades del grupo.

## **Construcción metodológica del objeto de Investigación**

El trabajo realizado se lo llevo a cabo en la Parroquia La Esperanza que pertenece al cantón Quevedo provincia de Los Ríos. La misma que con el crecimiento poblacional y habitacional del sector se ha visto en la necesidad de aumentar sus recursos para la implementación de obras necesarias y que aporten con los habitantes en sus labores cotidianas. Con el avance tecnológico y la infinidad de beneficios que aporta, es imprescindible llegar a los lugares más remotos con el afán de dotar de los servicios a la comunidad y al mismo tiempo insertarlos en los cambios tecnológicos.

Ante la falta de recursos que se designan a la parte de desarrollo tecnológico en determinados sectores rurales, el uso de antenas inteligentes ayuda a satisfacer necesidades primordiales.

### **Antenas Inteligentes**

Con la llegada inminente de UMTS y la implantación de nuevos servicios de tercera generación, que requieren de altas tasas binarias, se hace imprescindible el uso de técnicas que permitan aumentar la capacidad del sistema hasta un nivel tan alto como sea posible. En este aspecto y teniendo en cuenta que una de las principales limitaciones en estos sistemas es la posibilidad de que, obstáculos físicos (vegetación, obstrucciones temporales) o bien condiciones meteorológicas adversas (lluvia, nieve), degraden su rendimiento al interceptar o afectar a la línea de visión directa requerida, se ha planteado como una buena solución el uso de antenas inteligentes. El empleo de esta novedosa tecnología permitirá no solo aumentar la capacidad, sino también mejorar la calidad de la señal, incrementar el alcance, aumentar el nivel de seguridad e incluso introducir nuevos servicios aprovechando las características particulares de adaptación dinámica del patrón de radiación de las estaciones base en función de las condiciones cambiantes del entorno.

## **Limitaciones inherentes a los sistemas móviles como GSM y UMTS.**

La capacidad de un sistema de comunicaciones móviles se puede definir como la tasa binaria que puede ofrecerse en el ancho de banda disponible y en un área geográfica determinada. La capacidad no es la única limitación inherente a los sistemas móviles como GSM y UMTS, también se pueden destacar las siguientes (LEHNE & PETERSEN, 1999):

### **El desvanecimiento por multitrayecto.**

Degrada las prestaciones del canal de comunicaciones. Es menos importante en UMTS, debido a que es un sistema de banda ancha (por lo que está menos afectado por un desvanecimiento selectivo en frecuencia).

### **La interferencia cocanal.**

Empeora la relación C/I de la señal recibida, lo que afecta directamente al buen funcionamiento del sistema. Este efecto es mucho más pronunciado en los sistemas CDMA (como UMTS), ya que la relación C/I está directamente relacionada con el grado de cobertura de un Nodo B (estación base). Además, en los sistemas CDMA, los niveles de interferencia procedentes de otros



usuarios es mucho mayor debido a que los códigos de scrambling no son exactamente ortogonales entre sí.

### **La dispersión temporal de la señal recibida.**

Debida de nuevo al multitrayecto, que provoca un aumento de la interferencia entre símbolos. Estas tres limitaciones, sin embargo, tienen su origen en el hecho de que, en estos sistemas, los canales de tráfico se transmiten a través de antenas omnidireccionales o bien sectorizadas, a pesar de su carácter eminentemente punto a punto (LEHNE & PETERSEN, 1999).

Por este motivo, se está emitiendo señal a usuarios no deseados (lo que da lugar a la aparición de interferencias) y, a su vez, se reciben señales de diversas fuentes (de otros usuarios y de las componentes multitrayecto). Desde hace ya varios años, en la literatura se ha presentado la tecnología de antenas inteligentes como una forma eficaz de resolver todos estos problemas. A continuación se describe en que consiste esta tecnología, haciendo especial hincapié en las ventajas e inconvenientes de su aplicación al sistema UMTS.

### **Definición de antena inteligente.**

Una antena inteligente (en la Figura 1 del Anexo 2 se muestran dos prototipos) es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados

hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento<sup>6</sup>.

La implantación de antenas inteligentes en una red de comunicaciones móviles se limita, en principio, a las estaciones base o Nodos B en UMTS, debido a que necesariamente se deben emplear sistemas radiantes de mayor tamaño (arreglos de varios elementos). Esto tiene la ventaja de que pueden introducirse las antenas inteligentes de forma transparente para los usuarios, que no tendrán que cambiar de terminal para beneficiarse de esta tecnología. No obstante, algunos autores sí han contemplado la posibilidad de incorporar antenas inteligentes a los terminales móviles (DIETRICH, STUTZMAN, KIM, & DIETZE, 2000).

### **Ventajas y desventajas de los sistemas de antenas inteligentes.**

La característica de las antenas inteligentes de tener unos haces de radiación con una mayor directividad es decir, mayor ganancia y mayor selectividad angular, hace pensar en las siguientes ventajas potenciales de estos sistemas (LEHNE & PETERSEN, 1999), (GODARA, 1997)

#### **Incremento de la zona de cobertura.**

Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectorizadas, para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a una mayor distancia. Este hecho podría permitir reducir el

---

<sup>6</sup> [http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/sec\\_smart.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/sec_smart.html)

número de estaciones bases necesarias para cubrir una zona, siempre y cuando no sea el tráfico el factor limitante.

### **Reducción de la potencia transmitida.**

La mayor ganancia de la antena permitirá incrementar la sensibilidad de la estación base, por lo que los móviles podrán transmitir con menor potencia, ahorrando batería. De igual modo, gracias a la ganancia del arreglo, es posible que la estación base transmita igual potencia, pese a que cada elemento del arreglo esté radiando una potencia muy inferior. Así, disminuirían las especificaciones sobre los amplificadores de potencia utilizados, que podrían resultar más baratos.

### **Reducción de la propagación multitrayecto.**

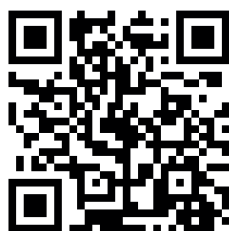
Debido a la menor dispersión angular de la potencia radiada por la estación base, se reducirá el número de trayectos múltiples que alcanzarán al móvil mejorando así las características de dispersión de retardo del canal. Esto permitiría disminuir los requisitos exigidos al ecualizador del terminal móvil.

## BIBLIOGRAFIA

- Balzano. (2013). The Near Field of Omnidirectional Helical Antennas. En Q. Balzano, The Near Field of Omnidirectional Helical Antennas (págs. 173-185).
- Cha. (1991). Wave Propagation on Helical Antennas. En A. Cha, Wave Propagation on Helical Antennas (págs. 556-560).
- Fujimoto & James. (2010). Mobile Antenna Systems Handbook.
- Hahn R & Fikioris J. (2012). Impedance and Radiation Pattern of Antennas. En F. J. Hahn R., Antennas and Propagation (págs. 97-100).
- Huidobro J. (2012). Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE. RAMA EDITORIAL.
- Kraus, R. (2010). Mobile Antenna Systems Handbook.
- Kagoshima ; Tsunekawa & Ando. (1992). Analysis of Planar Inverted-F Antenna Fed by Electromagnetic Coupling. En K. K., T. K., & A. A, Analysis of Planar Inverted-F Antenna Fed by Electromagnetic Coupling (págs. 1702-1705).
- Kraus & Marhefka. (2009). Antennas For All Applications.
- Sakitani & Egashira. (2013). Formula de Voltages and Admittances at Connections. En S. A., & E. S., Analysis of Coaxial Collinear Antenna (págs. 327-331).
- Wu ; Wu ; Bi & Litva J. (2011). Accurate Characterization of planar Printed. En W. C., W. L., B. Q., & L. J., Antennas Using Finite-Difference Time-Domain Method (págs. 526-534).

## ***Descubre tu próxima lectura***

Si quieres formar parte de nuestra comunidad,  
regístrate en <https://www.grupocompas.org/suscribirse>  
y recibirás recomendaciones y capacitación

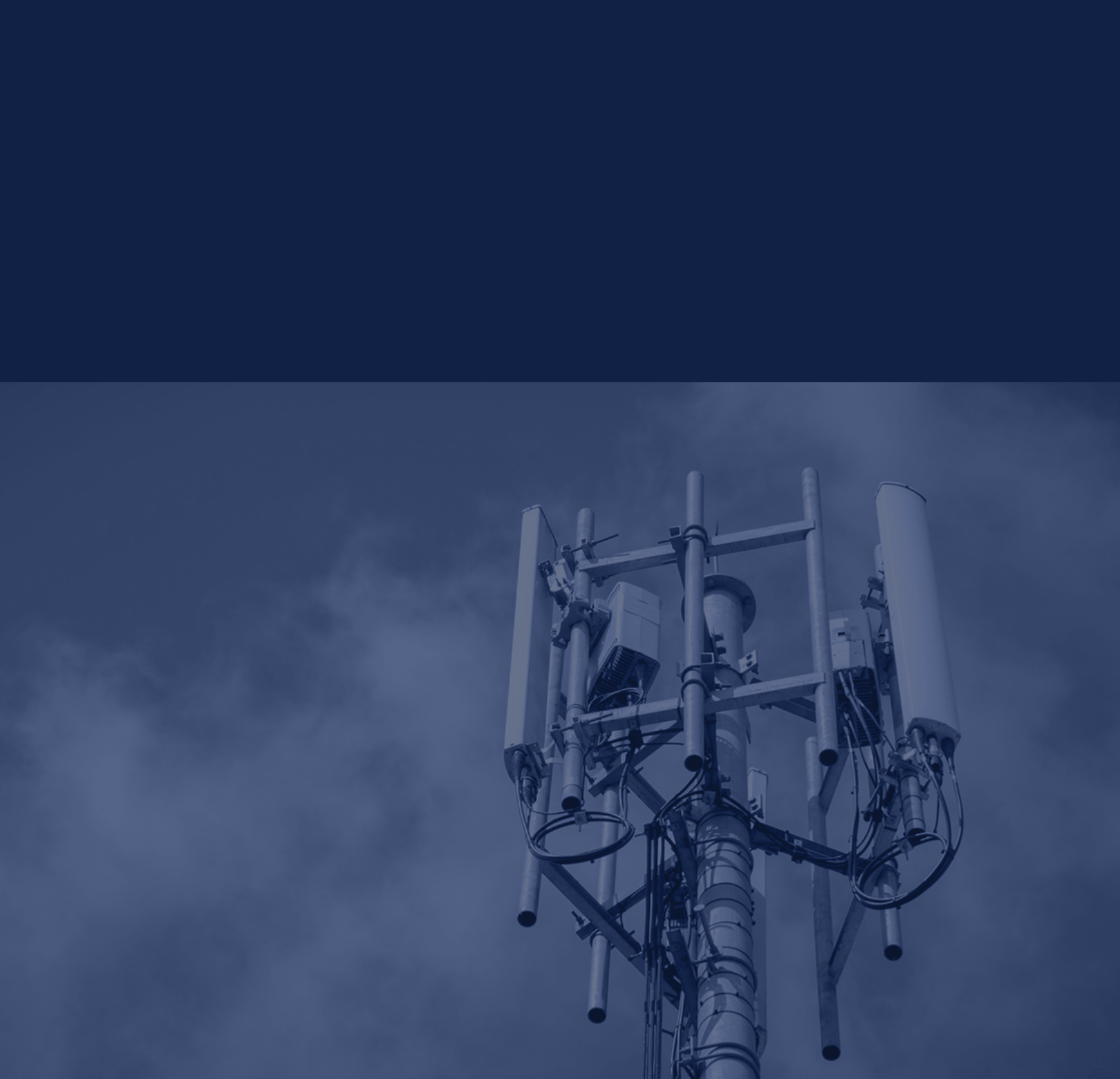


   @grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

compAs  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica



@grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com



ISBN: 978-9942-33-166-3



9 789942 331663



@grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

**compas**  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica