UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Proyecto de Investigación y Desarrollo previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Conectividad y Redes de Ordenadores

TEMA:

Antenas para comunicaciones móviles y su impacto en las Zonas Rurales, Parroquia la Esperanza, 2016

AUTOR:

ING. PAOLA MARIBEL BENITEZ NAVARRETE

TUTOR:

ING. BYRON OVIEDO B. MSc.

QUEVEDO-LOS RIOS-ECUADOR

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONECTIVIDAD Y REDES DE ORDENADORES

Proyecto de Investigación y Desarrollo previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Conectividad y Redes de Ordenadores

TEMA:

"ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES, PARROQUIA LA ESPERANZA, 2016"

AUTOR:

ING. PAOLA MARIBEL BENITEZ NAVARRETE

TUTOR:

ING. BYRON OVIEDO B. MSc.

QUEVEDO-LOS RIOS-ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Byron Oviedo B, MSc., Docente Tutor del Proyecto de Tesis, previo a la obtención del Título Académico de Magíster en Conectividad y Redes de Ordenadores

C E R T I F I C A

Que la Ing. Paola Maribel Benítez Navarrete, ha cumplido con la elaboración del Proyecto de Tesis titulado: **"ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES, PARROQUIA LA ESPERANZA, 2016".** El mismo que está apto para la presentación y sustentación respectiva.

.

Ing. Byron Oviedo B, MSc.

DOCENTE- ASESOR

AUTORÍA

Los criterios ideas, comentarios, conclusiones y recomendaciones son de mi autoría, excepto aquellos referentes que se encuentran debidamente citados.

Asumo la responsabilidad por el contenido de esta investigación

Ing. Paola Maribel Benítez Navarrete

Autor

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida. A mis padres Fausto y Josefa, pilares fundamentales en mi vida, por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Alexi, Luci y Bryan, por la paciencia y la ayuda. Andrés, por tu inocencia y travesuras tus sonrisas y llantos que dan sentido al diario caminar por este mundo. A mis amigos por la confianza y entusiasmo. A todos mis compañeros y compañeras porque a pesar del tiempo y las dificultades atravesadas se logró alcanzar los objetivos propuestos.

PAOLA

AGRADECIMIENTO

A todos los docentes de esta prestigiosa Universidad, por impartir sus saberes desde el inicio en esta carrera.

A todas las personas que de forma directa e indirectamente nos dieron fuerza para lograr llegar a la meta y sobre todo a aquellos que con sus dudas y forma negativa lograron impulsar y crecer el anhelo de llegar hasta la culminación de todo este proceso. A todos ellos hago mis más sinceros agradecimientos.

A Fausto Andrés, por inspirar la fuerza necesaria para culminar este proyecto.

PAOLA

PROLOGO

Esta investigación provee información sobre las tecnologías de diseños de diferentes tipos de antenas inteligentes, capaces de desempeñar un rol primordial en lo referente al mundo de las telecomunicaciones.

Actualmente los sistemas de comunicaciones generan diversas aplicaciones que permiten acceder a lugares más remotos con tecnología necesaria para cubrir las necesidades que se puedan presentar. Las antenas inteligentes crean patrones que dependen de las necesidades de los usuarios.

Las comunicaciones móviles son actualmente el área de crecimiento más rápido dentro del sector de las telecomunicaciones por lo que con la presente investigación se pretende enriquecer el conocimiento en el campo radioelectrónico de las comunicaciones móviles así como investigar sobre los métodos más apropiados para la determinación de las zonas de cobertura, que de forma explícita nos ilustre o vincule la filosofía de funcionamiento de los sistemas de comunicaciones móviles.

El estudio de los diferentes tipos de antenas y sus características conlleva a conocer las principales aplicaciones de cada uno de los elementos analizados, y los sectores en donde se debe primar su utilización y aplicación, que dependen de los parámetros que se establezcan y que brinden resultados óptimos y deseados. Los resultados obtenidos de esta investigación permitirán encaminar nuevas investigaciones en el campo de las antenas inteligentes,

Ing. Efrén Ocampo Vásquez

RESUMEN

Las comunicaciones a nivel mundial no son un requerimiento son una necesidad, desde los inicios de la humanidad ha sido fundamental en relación al desarrollo de los pueblos debido a que la gran mayoría de personas usan sistemas de comunicaciones, desde un simple teléfono celular hasta equipos de comunicaciones los cuales incluyen entre sus funciones GPS, Wi-Fi, etc. Sin embargo a nivel país aún existe sectores que se ven imposibilitados de obtener servicios de tecnología móvil, lo que imposibilita el desarrollo de los pueblos de manera íntegra.

La situación actual del país ha evolucionado, necesitando de nuevos servicios que contribuyan en integrar a todos los sectores y áreas con los avances tecnológicos. En atención al crecimiento de la demanda, los sectores rurales son los más afectados con respecto a este desarrollo de tecnología, es por esto que se pretende realizar un estudio que permita conocer la situación actual de estos sectores para determinar sus necesidades en cuanto a los servicios prestados en la actualidad y los tipos de enlaces que puedan necesitar y la factibilidad de realizarlos.

En el presente trabajo se realiza una revisión bibliográfica que brinda las principales características de varios tipos de antenas que, en la actualidad, son usadas en los diferentes sistemas de comunicaciones móviles, así como los requerimientos que son necesarios para su implantación en dichos sistemas. Se describen los diseños de dos tipos de antenas (helicoidal y colineal). Y la aplicación de una antena para establecer el tipo de comunicación en el sector en estudio, de una forma práctica y de forma sencilla, estableciendo los parámetros necesarios que ayuden en la obtención de resultados viables a ser aplicado en el área rural. En la actualidad existen contratos en hogares de servicio de acceso de internet que pueden repartidos entre varios usuarios, este tipo de acción se la puede ampliar y establecer una mayor área de acción con la construcción de antenas para comunicaciones

inalámbricas que en este caso permite una mayor potencia garantizando un mayor servicio.

ABSTRACT

Communications worldwide are not a requirement, they are a necessity. From the beginning of mankind, communications have been very important in relation to the development of people, due to the vast majority of people use communications systems, from a simple cell phone to computers which include among them GPS functions, Wi-Fi, etc. However, at the country level, there is still sectors that are unable to obtain services from mobile technology, preventing the country integral development.

The country actual situation has evolved, requiring new services that contribute to integrate all sectors and areas with technological advances. According to growing demand, the rural areas are most affected regarding to this technology development, for these reasons it is intended to work out a study to know the current situation of these sectors in order to determine their needs for services provided today and the types of links they may need and the feasibility of realizing them.

In this paper a literature review has been done to provide the main features of various types of antennas that currently are used in different mobile communications systems, as well as the requirements that are needed for implantating these systems . Designs of two types of antennas (helical and collinear) are described. Also, the application of an antenna to establish a communication type in the sector under study, by setting the necessary parameters to be implemented in rural areas.

Today, there are contracts of internet service access that can be spread out among multiple users; this type of action the can expanded establishing a larger area of action with the construction of antennas for wireless communications, allowing greater power service.

ÍNDICE

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO i
CERTIFICACIÓN IV
AUTORÍA V
DEDICATORIA VI
AGRADECIMIENTO VII
PROLOGO VIII
RESUMEN IX
ABSTRACT XI
INTRODUCCIÓN. XVIII
CAPÍTULO I 20
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN 20
1.1. Ubicación y Contextualización de la Problemática. 21
1.2. Situación actual de la problemática 24
1.3. Problema de investigación 25
1.3.1. Problema general 25
1.3.2. Problemas derivados 25
1.4. Delimitación del problema 26
1.5. Objetivos 27
1.5.1. Objetivo General 27
1.5.2. Objetivos Específicos. 27
1.6. Justificación 28
1.7. Cambios Esperados con la Investigación 29
CAPÍTULO II 30
MARCO TEÓRICO 30
2.1. Fundamentación Conceptual 31

2.1.1. Sistema de antenas móviles terrestres 31
2.1.2. Problemas de la Propagación. 32
2.1.2.1. Alturas de las antenas y condiciones de propagación. 32
2.1.3. Tendencias actuales en la investigación de la propagación. 33
2.1.4. Técnicas de antenas en la estación base. 34
2.1.4.1. Requerimientos de sistemas de antenas. 34
2.1.4.2. Tipos de antenas. 36
2.2. Fundamentación Teórica. 38
2.2.1 Diseño de antena de haz conformado. 38
2.2.1.1 Haz sectorial. 38
2.2.1.2 Conformación del haz en el plano vertical. 39
2.2.1.3 Haz conformado con un nivel de lóbulo lateral suprimido. 40
2.2.2 Diversidad. 40
2.2.2.1 Configuración de las antenas de diversidad en la estación base. 40
2.2.2.2 Espaciamiento horizontal para la diversidad. 41
2.2.2.3 Espaciamiento vertical para la diversidad. 42
2.2.3 Técnicas de antenas de estación móvil. 42
2.2.3.1 Requerimientos del sistema y funcionamiento de la antena. 42
2.2.4 Tipos de antenas. 43
2.2.4.1 Antena sleeve. 43
2.2.4.2 Antena monopolo de 5/8 λ. 44
2.2.4.3 Antena colineal. 44
2.2.4.4 Antena Colectiva: 44
2.2.4.5 Antena de Cuadro: 45
2.2.4.6 Antena de Reflector o Parabólica: 45
2.2.4.7 Antena Lineal: 45

2.2.4.8 Antena Multibanda: 45
2.2.4.9 Antena Yagi: 45
2.2.4.10 Antenas vehiculares de frecuencia dual..... 46
2.2.4.11 Dipolo cubierto. 46
2.2.4.12 Atenas helicoidales. 47
2.2.5 Antenas de sistemas compatibles. 48
2.2.6 Antenas para teléfonos portátiles. 48
2.2.7 Tipos De Antenas Para Redes Inalámbricas 49
2.2.7.1 Antenas Direccionales (o directivas) 50
2.2.7.2 Antenas Omnidireccionales 50
2.2.7.3 Antenas Sectoriales 51
2.2.8 Sistemas de comunicaciones móviles. 51
2.2.8.2 Sistemas Troncales (trunking)..... 52
2.2.8.3 Sistema TETRA 52
2.2.9 Sistema GSM (2G) 53
2.2.9.1 Sistema GPRS (2.5G)..... 53
2.2.10 Sistema UMTS (3G)..... 54
CAPÍTULO III 55
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 55
3.1 Tipo de Investigación..... 56
3.1.1. Descriptiva 56
3.1.2. Técnica Cuasi – experimental 56
3.2 Método de Investigación..... 56
3.2.1. Método Analítico..... 57
3.2.2. Método deductivo – inductivo..... 57
3.3 Fuentes de Recopilación de la Información..... 57

3.4 Instrumentos de la Investigación 57
3.5 Construcción metodológica del objeto de Investigación 58
3.6 Elaboración del Marco Teórico 58
3.7 Descripción de la Información Obtenida. 58
3.8 Construcción del Informe de Investigación 58
CAPÍTULO IV 59
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 59
4.1. Consideraciones para el diseño de antenas 60
4.1.1. Diseño de una antena helicoidal 60
4.1.1.1. Aplicaciones 60
4.1.1.2. Geometría de la antena helicoidal 60
4.1.1.3. Patrón de radiación 63
4.1.1.4. Ancho del lóbulo entre los puntos de mitad de potencia 63
4.1.1.5. Ganancia 64
4.1.1.6. Frecuencia 64
4.1.1.7. Impedancia de entrada 64
4.1.2. Diseño de una antena colineal coaxial 65
4.1.2.1. Cálculos para el diseño 66
4.1.2.2. Preparación del coaxial 69
4.2. Antenas Inteligentes 70
4.2.1. Limitaciones inherentes a los sistemas móviles como GSM y UMTS. 71
4.2.1.1. El desvanecimiento por multitrayecto. 71
4.2.1.2. La interferencia cocanal. 71
4.2.1.3. La dispersión temporal de la señal recibida. 71
4.2.2. Definición de antena inteligente. 72
4.2.3. Ventajas y desventajas de los sistemas de antenas inteligentes. 73

4.2.3.1. Incremento de la zona de cobertura. 73
4.2.3.2. Reducción de la potencia transmitida. 73
4.2.3.3. Reducción de la propagación multitrayecto. 73
4.2.3.4. Reducción del nivel de interferencia 74
4.2.3.5. Mejora de la seguridad..... 75
4.2.3.6. Introducción de nuevos servicios 75
4.2.3.7. Mayor complejidad de los transceptores. 75
4.2.3.8. Mayor complejidad de los procedimientos de gestión. 76
4.2.3.9. Cambios en los métodos de planificación. 76
4.3. Implementación y métodos de introducción de una antena inteligente 76
4.3.1. Implementación 76
4.3.1.1. Haz conmutado. 76
4.3.1.2. Haz de seguimiento. 77
4.3.1.3. Haz adaptativo. 78
4.3.2. Modo de introducción de las antenas inteligentes en una red de comunicaciones móviles..... 79
4.3.2.1. Receptor de alta sensibilidad (HSR). 80
4.3.2.2. Rechazo de interferencias por filtrado espacial (SFIR). 80
4.3.2.3. Acceso múltiple por división espacial (SDMA). 80
4.3.2.4. Algoritmos de conformación de haz. 81
4.3.2.5. Cálculo del vector de peso. 82
4.3.2.6. Algoritmos híbridos. 83
4.3.2.7. Canales involucrados. 85
4.3.2.8. Descripción de una posible implementación de un sistema de antenas inteligentes a UMTS. 85
CAPÍTULO V 87

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 87
5.1 CONCLUSIONES 88
5.2 RECOMENDACIONES 90
BIBLIOGRAFIA 91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación parroquia La Esperanza 21
Figura 2 Sectores rurales parroquia La Esperanza 22
Figura 3 Requerimientos para el diseño de antenas de estación base 31
Figura 4 Antena helicoidal 61
Figura 5 Patrón de radiación 63
Figura 6 Antena colineal coaxial 65
Figura 7 Medida de los segmentos de la antena 69
Figura 8 Diagrama del ensamble completo del elemento 70
Figura 9 Diagrama final de la antena 70
Figura 10 Prototipos de antenas inteligentes de la firma Allgon. 72
Figura 11 Reducción de la interferencia. 74
Figura 12 Antena de haz conmutado. 77
Figura 13 Antena de haz de seguimiento. 78
Figura 14 Antena de haz adaptativo. 79

INTRODUCCIÓN

La utilización de las ondas radioeléctricas se reveló desde hace tiempo como el único medio eficaz de establecer comunicaciones con puntos móviles, y lo seguirá siendo durante mucho tiempo, ya que las ondas de radio gozan de la propiedad de salvar obstáculos y alcanzar distancias considerables, a pesar de que en todo su trayecto, entre emisor y receptor, se ven afectadas tanto por condiciones ambientales como por las características del entorno donde se propaga.

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 nuestro país a pesar que existen algunas empresas que brindan servicios de telefonía móvil, aún existen algunas zonas donde no se presta este servicio. La poca población y lo distante que se encuentran, son de los factores fundamentales para que las empresas no inviertan en comunicar estas poblaciones.

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, tomando como escenario la zona rural El Atascoso de la parroquia la Esperanza.

En el capítulo I se detalla la ubicación y la problemática que se da en el sector, así como lo que se espera obtener con el estudio e investigación del tema tratado.

El capítulo II se basa en una breve descripción de los diferentes tipos de antenas, sus aplicaciones características y el uso que se les da en los diferentes aspectos de las telecomunicaciones.

El capítulo III se describe los métodos de investigación utilizados, definiendo las principales características que conllevan al uso del mismo, y los pasos a seguir para la selección de la población y muestra empleada para el estudio obtenido.

El capítulo IV indica los resultados obtenidos, realizando un análisis acerca del estudio de antenas y las opciones que se presentan para brindar servicios de telecomunicaciones en la zona rural y el área de cobertura del sector.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

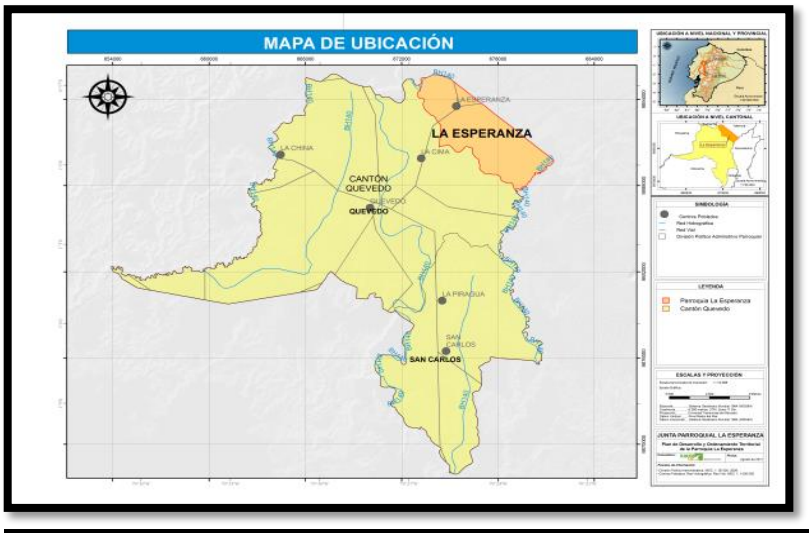
1.1. Ubicación y contextualización de la problemática

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 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^2, ubicada al este del cantón Quevedo y norte de la provincia de Los Ríos, sus límites son:

Norte: Cantón Valencia
Sur: Cantones Quevedo y Quinsaloma
Este: Cantón Valencia Y Quinsaloma
Oeste: Cantón Quevedo

Figura 1 *Ubicación parroquia La Esperanza*

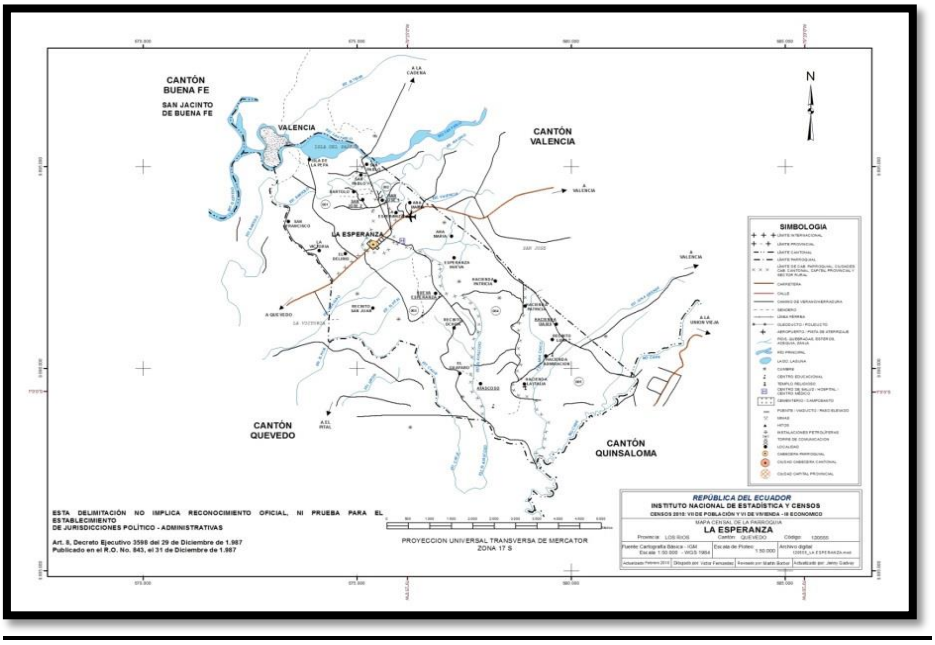


Fuente: GAD PARROQUIAL LA ESPERANZA
Elaborado por: PAOLA BENÍTEZ NAVARRETE

Se encuentra conformada por los siguientes sectores rurales:

- Atascoso
- Ana María
- La Italia
- Ochoa
- Olga maría
- La Victoria
- La Virginia
- Nueva Esperanza
- San José 1 y 2
- San Pablo
- Oasis

Figura 2 *Sectores rurales parroquia La Esperanza*



Fuente: GAD PARROQUIAL LA ESPERANZA
Elaborado por: PAOLA BENÍTEZ NAVARRETE

La realización de la investigación se la realizó 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.

1.2. Situación actual de la problemática

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. Los altos costos, así como el mínimo interés hacen que se van relegados y no son atendidos en el área de las comunicaciones y tecnología.

Cada vez son mayores las aplicaciones que se basan especialmente con el uso de tecnología, lamentablemente este aspecto no es considerado y se le resta importancia, dejando en el olvido a los usuarios de sectores apartados de las comunidades y ciudades, si bien es cierto se han creado vínculos tecnológicos con instituciones y escuelas, pero estos no siempre son satisfecho de manera que el usuario pueda alcanzar la cobertura suficiente que demanda en la actualidad los nuevos servicios de telecomunicaciones, quedando relegados y hasta en ocasiones incomunicados, teniendo que buscar sitios distantes para lograr tener acceso a la comunicación tan necesaria para infinidad de situaciones que se pueden llegar a presentar.

1.3. Problema de investigación

1.3.1. Problema general

- ¿Cómo diseñar una antena inteligente para comunicación móvil que mejore los servicios de telecomunicaciones en las zonas rurales?

1.3.2. Problemas derivados

- ¿Qué métodos de diseño se pueden utilizar para los diferentes tipos de antenas?
- ¿Qué características presenta la tecnología de antena inteligente
- ¿Cómo se pueden implementar e introducir en los diferentes sistemas de comunicación?

1.4. Delimitación del problema

CAMPO

Ciencias de la Telecomunicaciones

ÁREA

Telecomunicaciones.

ASPECTO

Mejoramiento Tecnológico

TEMA

“**ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES, PARROQUIA LA ESPERANZA, 2016**”

PROBLEMA

¿Cómo diseñar una antena inteligente para comunicación móvil que mejore los servicios de telecomunicaciones en las zonas rurales?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Establecer las especificaciones generales para el diseño de una antena inteligente que proporcione comunicación móvil de la zona rural en la parroquia la Esperanza brindar servicios de telecomunicaciones en la zona rural El Atascoso.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Describir los métodos de diseño de algunas antenas de base para comunicación móvil.
- Especificar los componentes teóricos de la tecnología de antenas inteligentes.
- Determinar la forma en que se pueden implementar e introducir a los diferentes sistemas de telecomunicaciones.

1.6. Justificación

En la actualidad y con la llegada inminente de nuevos productos de última generación, se hace imprescindible el uso de servicios de comunicaciones que den 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 trasmisión, 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.

1.7. Cambios Esperados con la investigación

- Conocer alternativas que permitan la comunicación móvil y de fácil acceso para determinados sectores que se encuentran exentos de este beneficio tecnológico.

- La aplicación de servicios tecnológicos de información con el afán de beneficiar el desarrollo tecnológico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación conceptual

2.1.1. 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. (Fujimoto & James., 2010) (Wu ; Wu ; Bi & Litva J., 2011) (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

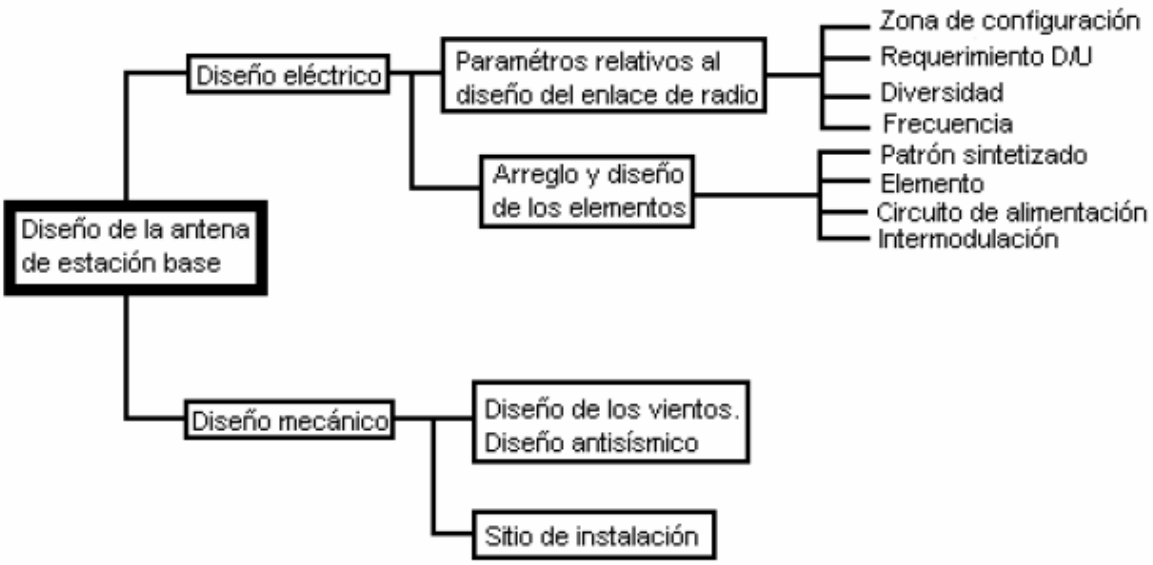


Figura 3 Requerimientos para el diseño de antenas de estación base

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. (Fujimoto & James., 2010) (Wu ; Wu ; Bi & Litva J., 2011) (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

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 multitrayectos (Fujimoto & James., 2010) (Wu ; Wu ; Bi & Litva J., 2011) (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

2.1.2. Problemas de la propagación

2.1.2.1. Alturas de las antenas y condiciones de 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. (Fujimoto & James., 2010)

La altura de una antena en la estación base, h le es definida como:

$$h_{le} = h_{ls} - h_{ga} \quad (1)$$

Dónde:

h ls : altura en la antena de la estación base con respecto al nivel del mar.

h ga : altura promedio del perfil del terreno respecto al nivel del mar en un área de 3 a 1 5 km alrededor de la estación base.

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: (Fujimoto & James., 2010)

- 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)

2.1.3. 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. (Fujimoto & James., 2010)

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 5º, celdas con un radio de 1.5 km y zonas sectorizadas a 120º. 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 (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

2.1.4. Técnicas de antenas en la estación base

2.1.4.1. Requerimientos de sistemas de antenas

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. (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992) (Fujimoto & James., 2010)

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 comunique 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. (Fujimoto & James., 2010)

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. (Fujimoto & James., 2010)

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)

2.1.4.2. 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. (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992)

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 excitará 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. (Cha, 1991)

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. (Cha, 1991)

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1 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. (Kraus & Marhetka, 2009)

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. (Kraus & Marhetka, 2009)

2.2.1.1 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. (Kraus & Marhetka, 2009)

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. (Kraus & Marhetka, 2009)

Los haces sectoriales con amplitud de haz entre 60º y 180º pueden obtenerse disponiendo del ángulo de abertura desde 60º a 270º. Cuando el ángulo de abertura es de 180º la amplitud del haz es aproximadamente 120º. Para obtener un haz de sectorial con una amplitud mayor que 120º se necesita un reflector esquinado con un ángulo de abertura mayor que 180º. Si dos antenas de haces sectoriales de 180º de amplitud de haz se combinan con un espaciamiento adecuado generalmente mayor que 6λ 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 de la Figura 6 se obtienen haces sectoriales de igual amplitud para las frecuencias f1 y f2. (Kraus & Marhetka, 2009)

2.2.1.2 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. (Kraus & Marhetka, 2009)

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 calda 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)

2.2.1.3 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. (Kraus & Marhetka, 2009)

2.2.2 Diversidad

2.2.2.1 Configuración de las antenas de diversidad en la estación base

Las antenas de diversidad se disponen con incrementos angulares de 120º en algunos países y en otros los sistemas se componen de 6 antenas sectoriales con amplitud de haz de 3 dB y 60º y el puerto con mayor nivel de recepción se selecciona para cubrir la línea límite de la zona. (Fujimoto & James., 2010)

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 90º una de otra. Mientras que en las antenas de haz de sector de 180º 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 180º es de λ, las mediciones han demostrado que el coeficiente de correlación entre las dos antenas es menor que 0.2 en áreas urbanas. . (Fujimoto & James., 2010)

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)

2.2.2.2 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 λ en áreas urbanas para lograr un coeficiente menor que 0.6, mientras que más de 20 λ se requiere para áreas suburbanas, se entiende por demás que el coeficiente de correlación aumenta con la altura de la antena. . (Fujimoto & James., 2010)

2.2.2.3 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. . (Fujimoto & James., 2010)

2.2.3 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. . (Fujimoto & James., 2010)

2.2.3.1 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. (Fujimoto & James., 2010)

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 radios móviles.

Resultados experimentales en ambientes urbanos y suburbanos indican que las ondas que llegan extendidas de 0-50º 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. . (Fujimoto & James., 2010)

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)

2.2.4 Tipos de antenas

2.2.4.1 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 λ 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 λ2. 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 λ4 . . (Sakitani & Egashira, 2013)

2.2.4.2 Antena monopolo de 5/8 λ

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 λ flexible. La razón por la cual su ganancia es mayor que la de la antena monopolo λ 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 λ 4 dado porque el plano terrestre es finito. . (Sakitani & Egashira, 2013)

2.2.4.3 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 λ 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 aficionado. 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)

2.2.4.4 Antena Colectiva

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

2.2.4.5 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.

2.2.4.6 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.

2.2.4.7 Antena Lineal

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

2.2.4.8 Antena Multibanda

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

2.2.4.9 Antena Yagi[1]

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 está dada por:

$$G = 10 \log n \qquad (7)$$

Donde n es el número de elementos por considerar [2]

[1] http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html

[2] http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html

2.2.4.10 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 λ 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)

2.2.4.11 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. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

2.2.4.12 Atenas 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. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

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. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

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. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

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. (Balzano, 2013) (Cha, 1991).

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).

2.2.5 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. . (Fujimoto & James., 2010)

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. . (Fujimoto & James., 2010)

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. . (Fujimoto & James., 2010)

2.2.6 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. . (Fujimoto & James., 2010)

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. (Fujimoto & James., 2010)

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. (Fujimoto & James., 2010)

Es importante tener en cuenta y determinar las características siguientes para diseñar una antena: (Fujimoto & James., 2010)

- 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.

2.2.7 Tipos De Antenas Para Redes Inalámbricas

Las antenas de redes inalámbricas se pueden dividir en tres tipos: (BALANIS, 2010) (CARDANA, 2008)

• Antenas Direccionales
• Antenas Omnidireccionales
• Antenas Sectoriales

2.2.7.1 Antenas Direccionales

Orientan la señal en una dirección muy determinada con un haz estrecho pero de largo alcance. Actúa de forma parecida a un foco que emite un haz concreto y estrecho pero de forma intensa (más alcance). (BALANIS, 2010)

Las antenas Direccionales "envían" la información a una cierta zona de cobertura, a un ángulo determinado, por lo cual su alcance es mayor, sin embargo fuera de la zona de cobertura no se "recibe" nada, no se puede establecer comunicación entre los interlocutores. (BALANIS, 2010)

El alcance de una antena direccional viene determinado por una combinación de los dBi de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor.
(BALANIS, 2010)

2.2.7.2 Antenas Omnidireccionales

Orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio pero de corto alcance. Si una antena direccional sería como un foco, una antena omnidireccional sería como una bombilla emitiendo luz en todas direcciones pero con una intensidad menor que la de un foco, es decir, con menor alcance. (BALANIS, 2010)

Las antenas Omnidireccionales "envían" la información teóricamente a los 360 grados por lo que es posible establecer comunicación independientemente del punto en el que se esté. En contrapartida el alcance de estas antenas es menor que el de las antenas direccionales. (CARDANA, 2008)

El alcance de una antena omnidireccional viene determinado por una combinación de los dBi de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor. A mismos dBi, una antena sectorial o direccional dará mejor cobertura que una omnidireccional. (CARDANA, 2008)

2.2.7.3 Antenas Sectoriales

Son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. La intensidad (alcance) de la antena sectorial es mayor que la omnidireccional pero algo menor que la direccional. Siguiendo con el ejemplo de la luz, una antena sectorial sería como un foco de gran apertura, es decir, con un haz de luz más ancho de lo normal. (CARDANA, 2008)

Para tener una cobertura de 360º (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) deberemos instalar o tres antenas sectoriales de 120º ó 4 antenas sectoriales de 80º. Las antenas sectoriales suelen ser más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales. (CARDANA, 2008)

2.2.8 Sistemas de comunicaciones móviles[3]

2.2.8.1 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).

[3] https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles

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 radiocuminaciones en flotas que brindan servicios tales como seguridad, bomberos, taxis, etc.[4]

2.2.8.2 Sistemas Troncales (Se) [5]

Trunking es un sistema de comparación de varias frecuencias radioelectricas, 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 tráfico.

Este sistema es la evolución del sistema radio móvil privado (PMR), surge ante la necesidad de optimizar el uso limitado de canales radioeléctricos disponibles.

En el sistema trunking se 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.

2.2.8.3 Sistema TETRA[6]

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 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).

[4] https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles
[5] http://mobilecomunications.blogspot.com/2010/07/sistemas-troncales.html?_sm_au_=iHV0JqDpvpvDWw5w
[6] https://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles

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.

2.2.9 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 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)

2.2.9.1 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)

2.2.10 Sistema UMTS (3G)

UMTS que viene de “Universal Movile 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. (Huidobro J., 2012)

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 tienes 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. (Huidobro J., 2012)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es un estudio descriptivo, observacional. El diseño de esta investigación es explicativa, de campo, no experimental.

3.1.1. Descriptiva

Los sujetos estudio serán guiados hacían el buen uso de la tecnologías de la información, las mismas que serán investigadas para la recopilación de datos de las experiencia de su aplicación.

3.1.2. Técnica Cuasi – experimental

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.

3.1.3.1. 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 se considera un nivel medio de manipulación de la variable independiente
Paso 3: Desarrollar el o los instrumentos para medir las variables dependientes.
Paso 4: Seleccionar una muestra de la población para el experimento.
Paso 5: Reclutar 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: Análisis de las propiedades del grupo.

3.2 Método de Investigación

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

3.2.1. Método analítico

La aplicación de este método permite 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.

3.2.2. Método deductivo – inductivo

Para iniciar con el proceso de investigación y posterior desarrollo se realiza 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 inconvenientes presentes en el área rural.

3.3 Fuentes de Recopilación de la Información

El trabajo se lo llevará a cabo en el recinto El Atascoso que pertenece a la parroquia La Esperanza 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.

3.4 Instrumentos de la investigación

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, con el fin de realizar mejoras que satisfagan sus necesidades y al buen uso que se le debe aplicar al uso de tecnología inteligente.

3.5 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.

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.

3.6 Elaboración del marco teórico

Para la elaboración del marco teórico se la realizo por medio de la consulta de libros y textos de varios autores facilitando de esta manera el proceso investigativo y la opción de contar con diferentes puntos de vistas del tema tratado y obtener variadas alternativas. Al elaborar el marco teórico nos facilita el entendimiento real del problema encontrado, conociendo diferentes alternativas probables y crear posibles soluciones con la elaboración de una propuesta alterna que solucione la problemática de la investigación.

3.7 Descripción de la Información Obtenida

La obtención de la información fue realizada con la investigación realizada en el sector objeto de estudio, logrando conocer sus necesidades y las carencias existentes.

3.8 Construcción del Informe de Investigación

En la elaboración del informe se incluye de forma escrita todo lo realizado durante el proceso de estudio e investigación, la forma de interpretar los resultados obtenidos y las conclusiones a las cuales se llega una vez realizada la etapa de investigación y aplicación de las soluciones planteadas.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Consideraciones para el diseño de antenas

Se describen los detalles de diseño de dos de las principales antenas base para la comunicación móvil.

4.1.1. Diseño de una antena helicoidal

En 1946 John Kraus propone el diseño de la antena helicoidal, aunque pudo lograr resultados increíbles en su primer experimento, tardaría años antes de entender las razones por la cual la antena operaba de un modo adecuado, descubrió que la antena helicoidal tenía polarización circular en la banda de radiodifusión siendo muy direccional. Su directividad y frecuencia central pueden ser ajustadas por la geometría de la antena. El diseño propuesto por Kraus en 1946 se reconoce como uno de los más populares y usados en las antenas de polarización circular.

4.1.1.1. Aplicaciones

Debido a su polarización circular, alta directividad, y la simplicidad relativa, la antena helicoidal encuentra una aplicación natural en las comunicaciones satelitales. Ha sido usada en satélites internacionales, así como en sistemas de comunicaciones punto a punto. Esta antena actualmente se usa en equipos que utilizan la banda de 2-5 GHz.

4.1.1.2. Geometría de la antena helicoidal

La antena helicoidal puede construirse de forma fácil, duradera y a muy bajo costo. Consiste de un alambre que, partiendo desde un plano de tierra, forma una espiral de n vueltas con diámetro D y espaciadas a una distancia S entre cada una, normalmente la cantidad de vueltas es mayor que cuatro (Balanis, 2012) (American Radio Relay League, 2007). La Figura 5 se presenta el esquema de este tipo de antena. Los parámetros son los siguientes:

n: Número de vueltas de la espiral.

S: Distancia entre las vueltas de la espiral (normalmente como un porcentaje de la longitud de onda, S_λ).

C: Perímetro de la circunferencia de una espira (normalmente como un porcentaje de la longitud de onda, C_λ).

D_λ: Diámetro del enrollado en longitudes de onda.

G: Diámetro del plano de tierra reflector.

g: Distancia entre la primera vuelta y el plano de tierra reflector.

L_t: Longitud total de la antena.

L_n: Longitud total del alambre.

L_o: Longitud total del alambre entre cada vuelta.

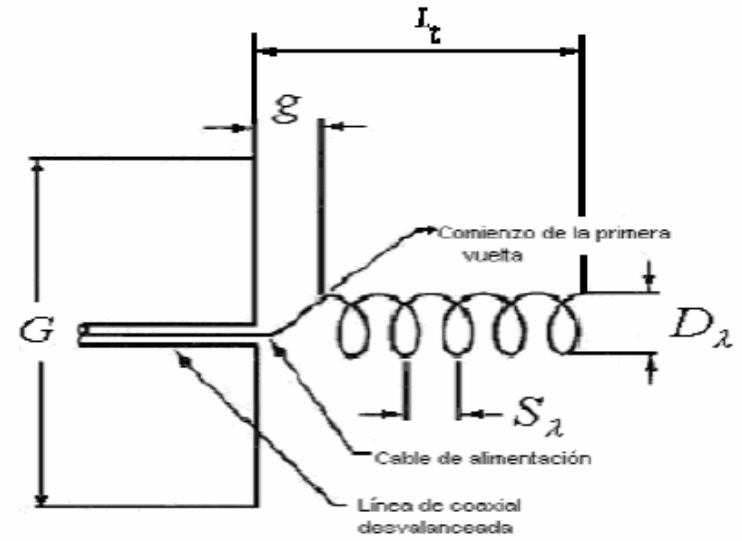


Figura 4 Antena helicoidal

A continuación se muestran las expresiones necesarias para el cálculo de los elementos que se requieren para el diseño de la antena helicoidal (American Radio Relay League, 2007) (Balanis, 2012).

Para $G = 0.8\lambda\ a\ 1.1\lambda$ y $g = 0.12\lambda\ a\ 0.13\lambda$.

La longitud del conductor de una vuelta se puede calcular como:

$$L_0 = \sqrt{S_\lambda^2 + (\pi D_\lambda)^2} \tag{9}$$

Mientras que la longitud total del conductor que requiere la antena para su construcción es:

$$L_n = n * L_0 \quad (10)$$

Si se multiplica el número de vueltas n por el espaciamiento que existe entre cada una, se obtiene la longitud total de la antena:

$$L_t = n * S \quad (11)$$

El perímetro de una espira del enrollado se calcula como:

$$C_\lambda = D_\lambda * \pi \quad (12)$$

Y su valor debe de oscilar entre 0.75λ a 1.33λ. El valor de porcentaje de longitud de onda también tiene que oscilar entre $S_\lambda = 0.2126C_\lambda \ a \ 0.2867C_\lambda$

El rango de esta relación resulta de los requerimientos del ángulo de inclinación α de la hélice que debe estar entre 12° y 16° (Kagoshima ; Tsunekawa & Ando., 1992).
Donde:

$$\alpha = arctan\frac{S_\lambda}{C_\lambda} \quad (13)$$

Cuando α = 0° la antena helicoidal se reduce a una antena de lazo de n vueltas, si α =90°entonces la antena se reduce a una antena lineal. Se tendrán antenas helicoidales si 0° <α < 90° con una circunferencia más grande que cero pero más pequeña que la circunferencia cuando la hélice se reduce a un lazo (α = 0°). Para una operación ideal, S=1/4 y $C_\lambda = 1$ (Plano de tierra G se asume infinito).

La antena helicoidal opera principalmente en dos modos:

- Modo normal (broadside): el campo radiado por la antena es máximo en el plano normal al eje de la hélice, en este modo, $n \cdot L_0 << \lambda$
- Modo axial (end-fire): en este modo de operación sólo hay un lóbulo principal y su máxima intensidad de radiación se encuentra a lo largo del

eje de la hélice. Los lóbulos secundarios se encuentran formando ángulos oblicuos respecto al eje.

4.1.1.3. Patrón de radiación

La antena Helicoidal puede considerarse como un conjunto de n fuentes isotrópicas dispuestas a lo largo del eje de la antena, lo que genera un patrón altamente directivo, donde la expresión para la intensidad del campo viene dado por la ecuación:

$$E = \sin(\frac{\pi}{2n}) * \frac{\sin(\frac{n\psi}{2})}{\sin(\frac{\psi}{2})} \quad (14)$$

Donde:

$$\psi = s(\cos\phi - 1) - \frac{\pi}{n} \quad (15)$$

4.1.1.4. Ancho del lóbulo entre los puntos de mitad de potencia

Con el incremento del número de vueltas el ancho de banda se hace más pequeño y la antena más direccional. Con la disminución del número de vueltas, la antena se convierte en una antena de lazo con un patrón más fuerte en el plano horizontal que a lo largo del eje de la hélice.

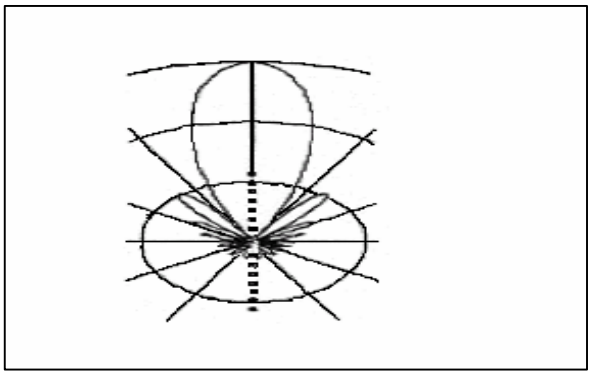


Figura 5 Patrón de radiación

$$HPBW \approx \frac{52}{C_\lambda \sqrt{nS_\lambda}} \quad (16)$$

4.1.1.5. Ganancia

Como se observa de la ecuación (16), la directividad y la ganancia están en función de la circunferencia, el espaciamiento entre ellas y el número de vueltas:

$$Gain_{(dBi)} = 11.8 + 10 * \log(C_\lambda^2 * n * S_\lambda) \quad (17)$$

Las circunferencias y las distancias entre ellas son determinadas por la frecuencia, el diseñador de la antena sólo necesita ajustar n para una aplicación apropiada. Por ejemplo, si la antena se encuentra en un satélite de GPS, se requiere un elevado número de vueltas para aumentar la directividad y la eficiencia de la transmisión. Si la antena está en un receptor de GPS, un bajo número de vueltas será requerido para aumentar la ganancia en el horizonte.

4.1.1.6. Frecuencia

El ancho de banda de una antena helicoidal es relativamente más grande que la mayoría de las antenas, en el orden de 2:1. La frecuencia central se fija por la circunferencia de las espiras.

4.1.1.7. Impedancia de entrada

La impedancia de entrada de la antena helicoidal es altamente resistiva. Esta cambia, dependiendo de la ubicación del punto de alimentación y del diámetro del conductor de las espiras. La naturaleza resistiva de la impedancia cambia como una función de la frecuencia, dada por las ecuaciones:
Para la alimentación en el centro de la antena (en el eje):

$$Z \approx 140 * C_\lambda \quad (18)$$

Para la alimentación en la periferia de la antena (en su circunferencia):

$$Z = 140 \frac{150}{\sqrt{C_\lambda}} \quad (19)$$

Nótese que con el aumento de C_λ (debido a un aumento de frecuencia), la impedancia aumentará o disminuirá dependiendo de la situación del punto del alimentación. Sin embargo, para el caso ideal ($C_\lambda = 1$), la localización de la alimentación tiene sólo un efecto menor en la impedancia.

4.1.2. Diseño de una antena colineal coaxial

Para la construcción de una antena colineal coaxial se requiere de varias secciones de cable coaxial. La antena se conforma al unir el conductor interno de una sección con el externo de la siguiente como muestra la figura 5. Por lo tanto, las ondas se propagan tanto en los conductores internos como externos de los elementos de la antena, (Balmain, 1987). Cada sección debe tener un largo efectivo de media longitud de onda del dieléctrico del cable coaxial. Con esto se mantendrá la misma polarización a lo largo de la antena. Así entonces, debido al intercambio entre los conductores de cada cable coaxial y su largo de λ/ 2, se producirá en cada sección una corriente con la misma polaridad e idéntica fase, (P. H. LEHNE, 1999).

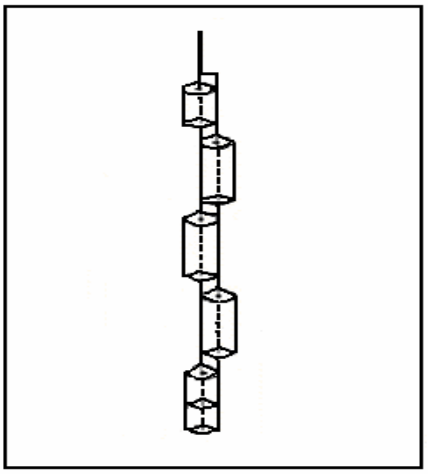


Figura 6 Antena colineal coaxial

La longitud de onda en el aire λ_0 es mayor que la propagada en el dieléctrico del cable λ', según $\lambda' = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_\gamma}}$, donde ε_γ, es el dieléctrico del cable coaxial. Es por esto que el largo de la sección de cable coaxial es un poco menor a la mitad de la longitud de onda en el aire $\lambda_0/2$.

La longitud de cada sección de cable será:

$$\lambda' = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_\gamma}} = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_\gamma}} = \frac{c}{f}v \tag{20}$$

En la ecuación, *c* = 3×10^8 m/ s es la velocidad de la luz en el vacío, *f* es la frecuencia para la cual se diseñará la antena y v la velocidad de propagación de la onda en el cable coaxial. Al centro de cada sección de cable coaxial, cuando se recorre éste en forma longitudinal, el voltaje es cero y la corriente es máxima. En la parte inferior, la antena lleva un disco de radio $\lambda_0/4$, que actúa como plano de tierra, evitando radiaciones bajo este punto y suprimiendo corrientes externas al cable de alimentación (Ecklund, 1995), (P. H. LEHNE, 1999).

Para protección contra relámpagos se hace un cortocircuito en la parte superior de la antena, uniendo el conductor interno con el externo a una sección conductora de largo $\lambda_0/4$, esta puede ser solamente el conductor interno del cable coaxial (ver figura 5). Debajo de esta sección y para unir los conductores cortocircuitándolos, se necesita una sección de un cuarto de longitud de onda del dieléctrico $\lambda'/4$ de tal manera que el voltaje en la unión sea cero (Ecklund, 1995).

Una vez conectados los cables coaxiales se pueden introducir en el interior de un tubo de material aislante, y el espacio entre el cable y el tubo puede ser llenado con espuma o cera, que sirve como soporte y además de aislarlo contra la humedad. Este tubo puede ser de fibra de vidrio el cual es bastante flexible y sin peligro de que se rompa, para un mejor uso de esta antena (American Radio Relay League, 2007) (T. J. Judasz, 1987) (Ecklund, 1995).

4.1.2.1. Cálculos para el diseño

Primero se determina cuanta ganancia debe tener la antena. Esta ha de calcularse realizando el balance de energía del enlace, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_{Tx} + G - A \geq S_{Rx} \quad (21)$$

Donde:

P_{Tx}: Potencia del trasmisor.

G: Ganancia de la antena.

A: Atenuación que introducen cables, conectores y la distancia.

S_{Rx}: Sensibilidad del receptor.

Para el caso en que no haya refracción, difracción ni reflexión lo que se podría llamar propagación en el espacio libre, se pode reemplazar la ganancia total y la atenuación total por sus componentes:

$$P_{Tx} - A_{CTx} - A_{FTx} + G_{Tx} - A_0 + G_{Rx} - A_{FRx} - A_{CRx} - M \geq S_{Rx} \quad (22)$$

Donde:

A_{CTx}: Atenuación en los contenedores de cables usados en el transmisor, que se puede estimar en algo así como 0.5~1dB por cada empalme hecho con conectores mecánicos.

A_{FTx}: Atenuación que introduce el cable alimentador de la antena transmisora. Se obtiene multiplicando la atenuación por metro (dB/m) a la frecuencia de operación que específica el fabricante del cable, por la longitud del cable.

G_{Tx}: Ganancia del transmisor.

A_0: Atenuación del espacio libre.

G_{Rx}: Ganancia de la antena del receptor.

A_{FRx}: Atenuación en el cable alimentador de antena receptora.

A_{CRx}: Atenuación en los conectores de cables usados en el recepto.

M: Margen de atenuación (10 dB por ejemplo), para tener en cuenta las condiciones cambiantes de propagación atmosférica (fading o desvanecimiento) y la degradación de los componentes mecánicos.

La atenuación de espacio libre se calcula (en dB) como:

$$A_0 = 21.98 + 20\log({}^{d}/_{\lambda_0}) \quad (23)$$

Donde; d : distancia a cubrir por el enlace

Luego de calcular la ganancia se determina el número de elementos que requiere la antena. Escogidos de la tabla siguiente:

Ganancia en dB	Número de elementos	Longitud de la antena en (cm)
3.5	4	32
6	8	56
9	18	116
10	21	134

Para el caso que se ejemplifica se ha decidido construir una antena de ganancia 6 dB con 8 elementos. La antena se diseña para operar óptimamente al centro de la banda de 802.11 (2.4 GHz). El centro de la banda es determinado por lo siguiente:

Rango de frecuencia: 2.4000 GHz a 2.4835 GHz.

$$f_c = \frac{f_{baja} + f_{alta}}{2}$$
$$f_c = \frac{2.400 + 2.4835}{2} \quad (24)$$
$$f_c = 2.441\ GHz$$

Donde:

f_c : frecuencia central.

La frecuencia central de operación se utiliza en la ecuación siguiente para determinar la longitud de los segmentos individuales de la antena:

$$l_{seg} = \frac{(c/f_c)}{2} v_0 \quad (25)$$

Donde:

v_0: Factor de velocidad del cable coaxial usado (cociente entre la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el coaxial y la velocidad de la luz en el vacío). Su valor típico es del orden de 0.85.

En este ejemplo

$c = 3 * 10^8 m/s,\ f_c = 2.441\ GHz,\ v_0 = 0.85$

Aplicando la ecuación anterior

$$l_{seg} = \frac{(3 * 10^8 m/s / 2.441\ GHz)}{2} * 0.85$$

$$l_{seg} = 52.2m$$

En la figura se muestran las medidas de los segmentos.

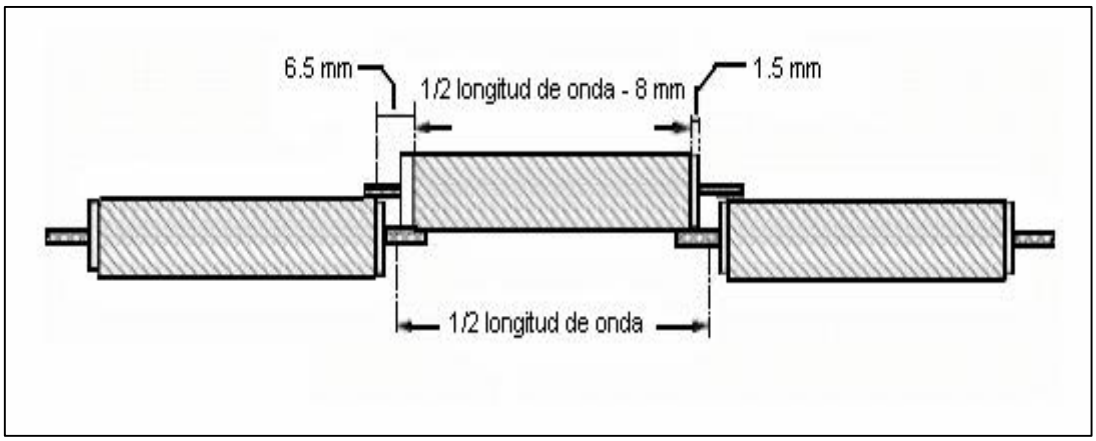


Figura 7 Medida de los segmentos de la antena

4.1.2.2. Preparación del coaxial

La longitud del coaxial es calculada como se muestra a continuación.

$$l_{coaxial} = {}^{\lambda}/_{2} + 15m \quad (26)$$

Por su parte la Figura 8 muestra el diagrama completo del proceso de ensamblado de los elementos principales de la antena, asi como la Figura 9 determina el estado final de la misma.

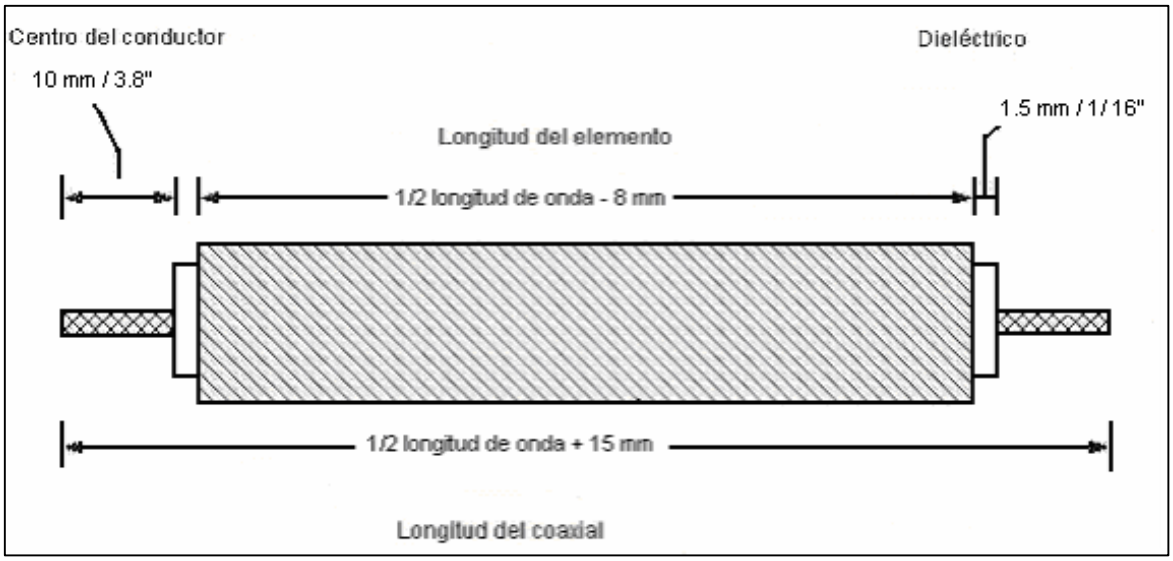


Figura 8 Diagrama del ensamble completo del elemento

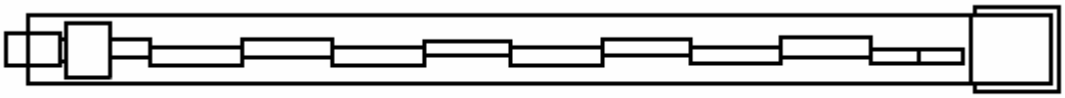


Figura 9 Diagrama final de la antena

4.2. 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.

4.2.1. 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):

4.2.1.1. 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).

4.2.1.2. 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.

4.2.1.3. 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.

4.2.2. Definición de antena inteligente

Una antena inteligente 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[7].

Figura 10 Prototipos de antenas inteligentes de la firma Allgon.

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

[7] http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/sec_smart.html

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).

4.2.3. 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)

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

4.2.3.2. 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.

4.2.3.3. 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.

4.2.3.4. Reducción del nivel de interferencia

La mejor selectividad espacial de la antena permitirá a la estación base discriminar las señales de usuarios interferentes en favor de la señal del móvil deseado en el caso del enlace ascendente, y también reducir el nivel de potencia transmitida en las direcciones de esos otros usuarios en el caso del enlace descendente.

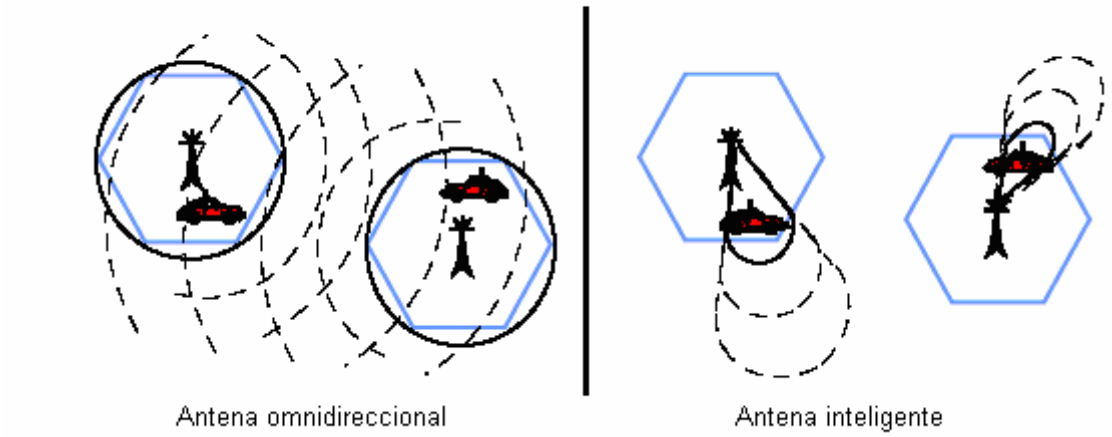


Figura 11 Reducción de la interferencia.

De cualquier modo, se conseguiría aumentar la relación C/I, lo cual tiene dos consecuencias fundamentales:

- Una mejora en la C/I implica directamente mejora en la tasa de error BER, lo que hace que la calidad del servicio aumente.
- La reducción de la C/I puede explotarse directamente (mediante técnicas de multiplexación espacial) o indirectamente (realizando un plan de

frecuencias más ajustado, en el caso de GSM) para aumentar la capacidad del sistema.

4.2.3.5. Mejora de la seguridad

Gracias a que la transmisión entre la estación base y el terminal móvil es direccional, no será posible que un equipo ajeno intercepte la comunicación, a menos que se sitúe en la misma dirección en la que apunta la antena. Además, sería posible una localización precisa de usuarios que estuvieran realizando un uso fraudulento de los servicios ofertados por la red.

4.2.3.6. Introducción de nuevos servicios

Puesto que la red podría tener acceso a información acerca de la posición de los móviles, es posible pensar en servicios tales como radiolocalización en llamadas de emergencia, tarificación geográfica, publicidad de servicios cercanos, información en lugares turísticos, etc.

No obstante, la implantación de estas antenas en la red móvil no está exenta de inconvenientes, como los que se detallan a continuación.

4.2.3.7. Mayor complejidad de los transceptores

En comparación con los sistemas radiantes convencionales, los sistemas de antenas inteligentes son mucho más complejos y difíciles de diseñar. Es necesaria una cadena de transmisión/recepción independiente para cada elemento del arreglo, y todas ellas deberán estar balanceadas y calibradas en tiempo real. Además, es imprescindible el uso de potentes procesadores digitales DSPs, por ejemplo para ejecutar los algoritmos de optimización, conformación de haz y detección del ángulo de llegada. En definitiva, se llega a la conclusión de que no será posible diseñar independientemente el sistema radiante y la propia estación base.

4.2.3.8. Mayor complejidad de los procedimientos de gestión

El hecho de que exista un haz de radiación enfocado hacia cada usuario implica que las funciones de red deben revisarse, en particular, las que afectan a la gestión de recursos de radio RRC y a la gestión de movilidad MM. Por ejemplo, algunos procedimientos que pueden verse afectados son los de selección y re selección de celda y establecimiento de conexiones.

4.2.3.9. Cambios en los métodos de planificación

La introducción de un sistema de antenas inteligentes implicará tener muy en cuenta sus características, a la hora de realizar la planificación de la red celular. En particular, habrá que contar con el aumento del alcance, la eliminación de fuentes de interferencia y el seguimiento angular de los usuarios (P. H. LEHNE, 1999).

4.3. Implementación y métodos de introducción de una antena inteligente

Como se ha mencionado, la característica básica que se busca en el diseño de un sistema de antenas inteligentes es la capacidad de seleccionar espacialmente a los distintos usuarios. Existen varias formas de implementar un sistema con esta capacidad, las cuales se describen a continuación por orden de complejidad (P. H. LEHNE, 1999), (CHRYSSOMALLIS:, 2000)

4.3.1. Implementación

4.3.1.1. Haz conmutado

Es la técnica más simple. El sistema radiante genera varios haces, cada uno de ellos apuntando en una dirección distinta, de modo que entre todos se cubre toda la zona deseada, un sector o una celda. La inteligencia del sistema se encarga de seleccionar el haz que mejor servicio da a cada usuario en particular, en función de algún parámetro de control (mayor nivel de potencia recibida, mejor SNR y mejor C/I).

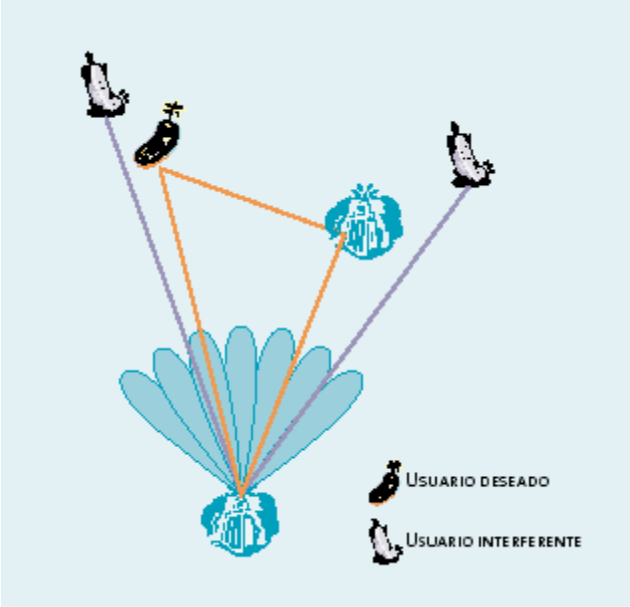


Figura 12 Antena de haz conmutado.

Esta técnica no garantiza que el móvil se encuentre en la dirección de máxima radiación del haz que le da servicio, ni que las señales interferentes se vean notablemente reducidas ya que siempre es posible que alguna entre por uno de los lóbulos secundarios. De hecho, sería posible recibir una señal interferente por un punto del diagrama de radiación con mayor ganancia que la señal deseada, empeorando apreciablemente las prestaciones del sistema. Una versión más avanzada de esta técnica consistiría en seleccionar con un haz la señal deseada y con otros algunas de sus componentes multitrayecto.

4.3.1.2. Haz de seguimiento

Esta técnica es más compleja que la anterior. Requiere el uso de un arreglo progresivo, es decir, un arreglo en el que se pueden controlar electrónicamente las fases con las que se alimentan los distintos elementos, de modo que puede modificarse a voluntad la dirección en la que apunta el lóbulo principal de la antena. A su vez, es necesario utilizar algún algoritmo de detección de la dirección de llegada, de modo que pueda reorientarse dinámicamente el haz para apuntar al usuario deseado. Con esta técnica sí se puede garantizar que el usuario se encuentra iluminado en todo momento por el lóbulo principal y con

máxima ganancia dentro de las limitaciones de los algoritmos que se empleen. Sin embargo, tampoco puede evitarse que las interferencias entren por algún lóbulo secundario del diagrama de radiación. Para aprovechar las señales multitrayecto sería necesario detectar y seguir con otros haces dichas componentes y luego procesarlas.

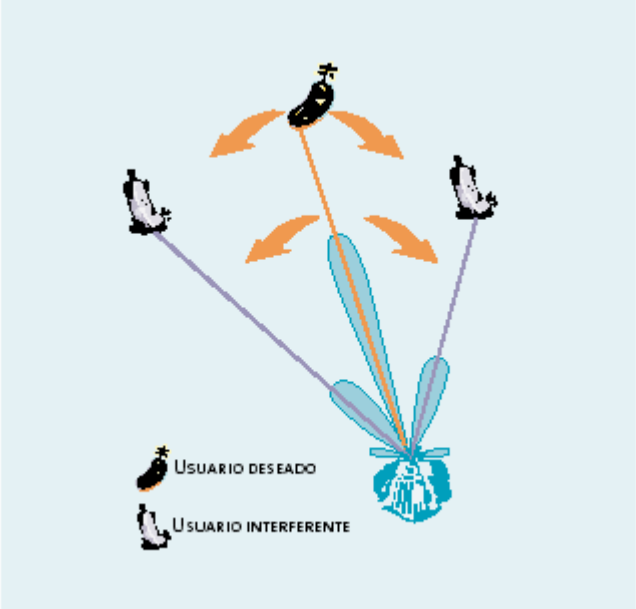


Figura 13 Antena de haz de seguimiento.

4.3.1.3. Haz adaptativo

Este sería el máximo nivel de inteligencia con que se podría dotar al sistema. En este caso, la salida de cada elemento del arreglo se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal por ejemplo, la SINR.

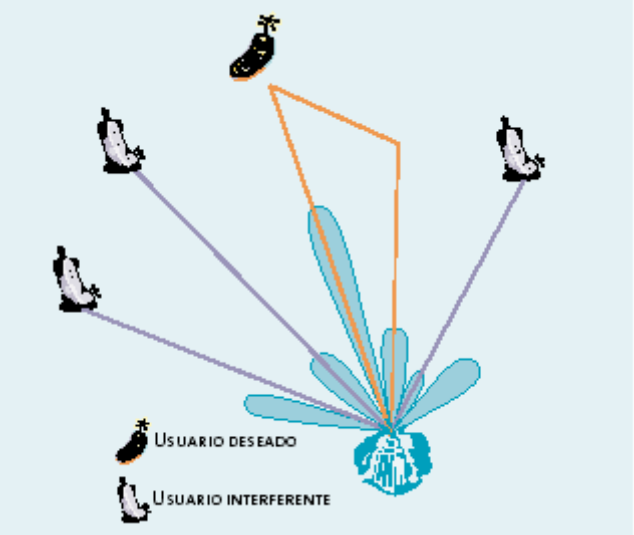


Figura 14 Antena de haz adaptativo.

De este modo, el diagrama sintetizado habitualmente presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto y mínimos e incluso nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia. No siempre será posible eliminar toda la interferencia, ya que el número de fuentes interferentes que se pueden suprimir está directamente relacionado con el número de elementos de la antena. Esta técnica requiere el uso de complicados algoritmos, tanto para la detección de las señales deseadas e interferentes como para la optimización de los pesos que conforman el haz. Estos algoritmos suelen conllevar una gran carga computacional, mientras que deben procesarse en tiempo real, por lo que suponen una seria limitación.

4.3.2. Modo de introducción de las antenas inteligentes en una red de comunicaciones móviles

Una vez conocidos los tipos de antenas inteligentes, es necesario estudiar los modos de introducción de esta tecnología en una red de comunicaciones móviles. Existen tres modos de aplicarla en función del grado de aprovechamiento de la selectividad espacial que ofrece (P. H. LEHNE, 1999).

4.3.2.1. Receptor de alta sensibilidad (HSR)

Esta configuración consiste en utilizar antenas inteligentes sólo en el enlace ascendente. De este modo, gracias a la mayor directividad de la antena, se consigue mejorar la sensibilidad global de la cadena de recepción de la estación base, lo que supone varias ventajas:

- En primer lugar, al mejorar la sensibilidad en el enlace ascendente, aumentará la extensión de la zona de cobertura. Esta mejora podría llegar a ser tan grande como para que fuera el enlace descendente el más restrictivo a la hora de calcular la cobertura de una estación base.
- En segundo lugar, la mayor ganancia de la antena significa también que los móviles más cercanos podrían emitir con menor potencia, manteniendo la calidad del enlace, con el consiguiente ahorro de baterías.
- Por último, se lograría una mejora de la relación C/I, lo que implicaría menores tasas de error y una mejor calidad.

4.3.2.2. Rechazo de interferencias por filtrado espacial (SFIR)

En esta configuración se emplean antenas inteligentes tanto en el enlace ascendente como en el descendente, con lo cual se consigue aprovechar la mejora por selectividad espacial en ambas direcciones. En este caso, la mejora que se experimenta en la C/I, además de reducir la BER del sistema, puede explotarse directamente para aumentar la capacidad de un sistema CDMA como es UMTS. Esto también podría lograrse indirectamente en GSM, si se hace un plan de frecuencias más ajustado, al ser menor la distancia de reutilización, puede aumentar el número de portadoras por estación base.

4.3.2.3. Acceso múltiple por división espacial (SDMA)

Esta sería la configuración más compleja, pues consiste en aprovechar al máximo las propiedades de selectividad espacial de las antenas de ambos enlaces para ubicar simultáneamente a varios usuarios en el mismo canal. Es decir, que podría

haber varios usuarios utilizando al mismo tiempo la misma frecuencia. La introducción de SDMA supondría la necesidad de contar también con complicados sistemas de gestión de usuarios y de asignación de canales.

4.3.2.4. Algoritmos de conformación de haz

A continuación se describen brevemente los algoritmos que deben implementarse a la hora de diseñar un sistema de antenas inteligentes basado en haces adaptativos, que son los más complejos y, a la vez, los más interesantes.

En primer lugar, supóngase que existen k usuarios, cada uno de los cuales transmite una señal $s_k(t)$. La señal del usuario k-ésimo sufre varias reflexiones y llega a la estación base a través de L_k trayectos distintos, cada uno de los cuales tiene una amplitud y una fase distintas ($a_{ki} * e^{j\emptyset ki} \equiv \alpha^{ki}$), y llega con un retardo de (t_{ki}) y una dirección de ($\emptyset_{ki}$) diferentes. En la estación base se tendrá un arreglo de N antenas, que, para simplificar, se supondrá que están alineadas y equiespaciadas. En estas condiciones, la señal recibida en el elemento n-ésimo del arreglo es:

$$U_{n(t)} = \sum_{k=1}^{k} \sum_{i=1}^{L_k} a_n(\phi_{ki}) \cdot S_k(t - \tau_{ki}) + n_n(t) \quad (27)$$

Donde:

$a_n(\phi_{ki}) = \exp(jknd \cdot \cos(\phi_{ki}))$: representa la fase con la que llega la señal al elemento *n*-ésimo.

$k = 2\pi/\lambda$: número de ondas para la frecuencia de trabajo, cuya longitud de onda es λ.

d: distancia entre los elementos del arreglo.

$n_n(t)$: ruido captado por el elemento n-ésimo.

Para sintetizar un diagrama de radiación con una cierta distribución de lóbulos, es necesario multiplicar la salida de cada uno de los elementos por un peso complejo

w_n *(t)* y luego sumarlas todas. Utilizando una notación vectorial, la señal a la salida del arreglo será:

$$y(t) = \bar{w}(t)^H \cdot \bar{u}(t) = \bar{w}(t) \cdot \left[\sum_{k=1}^{k} \sum_{i=1}^{L_k} \bar{a} \cdot \alpha_{ki} \cdot S_k(t - \tau_{ki}) + \bar{n}(t) \right] \quad (28)$$

Donde los vectores w, a y n son vectores columnas, con los elementos wn, an y nn, correspondientes (1 ≤ n ≤ N), y el operador H significa "hermítico" (transpuesto y conjugado).

El problema consiste entonces en encontrar un vector de peso w capaz de sintetizar un diagrama de radiación que sea útil para apuntar a un usuario. Si este sistema dispone de NR cadenas receptoras (es decir, es capaz de establecer hasta NR comunicaciones simultáneas con otros tantos usuarios), habrá que calcular a la vez NR vectores de peso, aplicarlos a las salidas de los elementos del arreglo y obtener así las NR salidas (una para cada receptor).

El cálculo del vector w que mejor se adapte a las necesidades (según se quiera maximizar la SNR y aprovechar la diversidad de trayectos.) puede realizarse mediante algoritmos muy diversos (CHRYSSOMALLIS:, 2000) (T. P. SARKAR, 2000).

4.3.2.5. Cálculo del vector de peso

Existen, básicamente, tres tipos de algoritmos para el cálculo del vector de peso, los cuales se diferencian en el modo en que seleccionan al usuario deseado:
Técnicas con referencia temporal: En este caso, el receptor genera localmente una estimación de la señal del usuario que desea captar (obtenida usualmente a partir de una secuencia de entrenamiento o de un código de scrambling). Entonces, el algoritmo encontrará el valor de w que minimiza el error entre la señal de salida del arreglo, *y(t),* y la estimación, *d(t).*

Técnicas con referencia espacial: Estas técnicas no requieren el uso de secuencias de entrenamiento, pero, en cambio, necesitan estimar la DoA del usuario deseado y de los interferentes, lo que supone el uso de otros complejos algoritmos para hacer dicha estimación. La ventaja de esta frente a las anteriores es que no necesitan conocer la estadística de la señal y convergen más de prisa, al no tener que invertir grandes matrices. En cambio, son muy sensibles a los posibles errores de apuntamiento, debidos a una mala calibración de los elementos del arreglo o a desviaciones en los algoritmos de cálculo de DoA, ya que si la dirección en la que se dirige el haz no coincide con la de la señal que se busca, esta puede ser eliminada como una interferencia más.

Técnicas con referencia ciega: En este tipo de técnicas, más complejas, lo que se explota es alguna característica conocida de la señal deseada, como alguna modulación y algún tipo de ciclo estacionariedad. Por ejemplo, se puede citar la técnica CMA, en la que se fuerza una solución de envolvente constante.

4.3.2.6. Algoritmos híbridos

Habitualmente, el algoritmo que se diseña para una aplicación no se encuadra exactamente en uno de estos tipos, sino que puede utilizar algún esquema híbrido para mejorar sus prestaciones. Algunos algoritmos interesantes en este sentido pueden ser (CHRYSSOMALLIS:, 2000):

Procesado haz-espacio: Consta de dos etapas, la primera genera una serie de salidas asociadas a distintos haces fijos, las cuales, en la segunda etapa, se procesan según algún criterio establecido.
Conformador de banda ancha: Emplea una serie de líneas de retardo y de filtros FIR con los que sintetiza la respuesta en frecuencia de cada haz.

Conformador en el dominio de la frecuencia: Realiza una FFT a la salida de cada antena, de modo que se calcula el vector de peso óptimo para cada componente espectral. Después se realiza una IFFT para recuperar la señal de banda ancha.

Conformador digital: Se toman muestras a la salida de cada elemento del arreglo, que luego se procesan (mediante pesos y retardos) para generar los haces deseados. Si se desea conseguir precisión en el apuntamiento del haz, es necesario muestrear mucho más allá del criterio de Nyquist.

Método de la auto estructura: Separa los subespacios de señal deseada y ruido utilizando los auto vectores de la matriz de auto correlación de la señal recibida.

A la hora de utilizar alguno de estos algoritmos, ha de tenerse en cuenta que no es muy eficiente calcular la solución completa del problema cada vez que se desee actualizar el valor de w. En lugar de eso, es más razonable limitarse a calcular únicamente la diferencia entre el valor que tenía en el instante anterior y el valor que se supone que debería tener en el actual (algoritmos adaptativos).

Un algoritmo así permitiría, además, capturar a nuevos usuarios y seguir a aquellos que se desplazan. Existen algunos algoritmos diseñados explícitamente para sistemas CDMA. Estos algoritmos deben ser adaptativos y multiusuario, es decir, deben extraer la señal de todos los usuarios simultáneamente (por lo tanto, calcularán uno distinto para cada usuario). Unos son con referencia ciega, pero los más sofisticados utilizan como referencia temporal los propios códigos de scrambling de cada usuario, para distinguirlos. La aplicación de un algoritmo u otro en el diseño de una antena inteligente depende del compromiso al que se desee llegar entre la funcionalidad del método (robustez, flexibilidad) y su eficiencia computacional (sobre todo, teniendo en cuenta que se desea conseguir que funcione en tiempo real). Esto es cierto cuando se habla del enlace ascendente, sin embargo, en el caso del enlace descendente, existen ciertas consideraciones que hay que tener en cuenta (P. H. LEHNE, 1999).

En efecto, en el enlace descendente es la estación base la que transmite y, por tanto, debe conocer de algún modo la dirección en la que se encuentran los usuarios para poder iluminarlos con los haces. Puesto que en el enlace ascendente ya se han calculado los pesos que apuntan los haces hacia los

usuarios, podría parecer razonable utilizar esos mismos pesos para conformar el diagrama de radiación en el enlace de bajada. Sin embargo, en general esto no será así, dado que las bandas de frecuencias de uplink (enlace ascendente) y downlink (enlace descendente) están lo suficientemente separadas como para que la respuesta del canal sea distinta en cada caso y, por tanto, cambie la distribución espacial, temporal y espectral de los multitrayectos y de las interferencias.

En estos casos es más razonable utilizar algún algoritmo para calcular la DoA del usuario deseado y de los interferentes en el enlace ascendente, de modo que luego pueda sintetizarse un diagrama de radiación atendiendo a las posiciones calculadas de los usuarios. Esta síntesis puede hacerse entonces utilizando las técnicas clásicas de síntesis de diagramas de radiación.

4.3.2.7. Canales involucrados

De toda la estructura de canales de transporte definida en UMTS, no todos ellos admiten ser transmitidos o recibidos a través de una antena de haz conformado, sino que obligatoriamente deben hacer uso de una antena omnidireccional o sectorial, es el caso de los canales de difusión, acceso aleatorio, etc. De hecho, los únicos canales que admiten conformación de haz son el DCH y el FACH.
El DCH es el canal bidireccional que lleva los datos y la señalización asociada a un usuario cuando éste se encuentra en modo circuitos (a veces también en modo paquetes). El FACH es un canal downlink que lleva los avisos para los terminales móviles cuya situación es conocida por la red.

4.3.2.8. Descripción de una posible implementación de un sistema de antenas inteligentes a UMTS

A continuación se va a evaluar el modo en que podría incorporarse un sistema de antenas inteligentes a UMTS. En primer lugar, hay que recordar que, de las tres posibles configuraciones del sistema, la menos recomendable en un sistema CDMA es precisamente la configuración SDMA. En efecto, en un entorno UMTS

se tendrá un número muy alto de usuarios que utilizarán la misma frecuencia al mismo tiempo, de modo que los usuarios se distinguirán unos de otros mediante sus códigos de scrambling. La incorporación de la solución SDMA supondría entonces añadir una complejidad enorme e innecesaria en la gestión de los usuarios, ya que los propios códigos son suficientes para garantizar una separación satisfactoria de las señales.

En cuanto a las configuraciones HSR y SFIR, está claro que es más beneficiosa esta última, dado que es la que realmente puede proporcionar un aumento en la capacidad del sistema por la mejora en la C/I además de las mejoras en la calidad y seguridad asociadas al uso de antenas inteligentes.

La configuración SFIR puede implementarse con cualquiera de los tres esquemas de antena planteados anteriormente. No obstante, las prestaciones conseguidas con esquemas de haz conmutado y haz de seguimiento son muy inferiores a las que se lograrían utilizando arreglos adaptativos. Es más, dado que UMTS pude aprovechar la diversidad por multitrayecto, son más interesantes las soluciones basadas en haces adaptativos, ya que sería posible recibir las componentes de multitrayecto a través de los lóbulos secundarios del haz sintetizado para cada usuario.

La elección del algoritmo que gobierna la conformación de los haces depende mucho de las prestaciones que se le quieran dar al sistema, debiéndose alcanzar un compromiso entre las mejoras que se pretenden obtener y la complejidad añadida. Ha de tenerse en cuenta que un requisito imprescindible en el diseño es el funcionamiento en tiempo real, por lo que no son aconsejables algoritmos que impongan una fuerte carga computacional a los procesadores. En este sentido, lo más adecuado sería utilizar algoritmos adaptativos, ya que, una vez inicializados, sólo requieren cálculos de menor envergadura para ir actualizando la conformación del haz.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el presente proyecto se consideraron los elementos fundamentales para estableces las pautas necesarias para dar de una solución tecnológica al problema de la comunicación móvil en la zona rural de la Esperanza. A continuación se detallan las principales conclusiones del estudio realizado:

- Se definieron los elementos a tener en cuenta para el diseño de antenas móviles, tomando como referencia dos de las más utilizadas en el área. En cada uno de los casos se determinaron los parámetros de diseño y las formas para calcularlos para lograr proporcionar esta tecnología a la zona rural de la parroquia La Esperanza.

- Acuerdo a las condiciones geográficas y a los parámetros que se establecen para la construcción de antenas, se debe considerar principalmente el alcance del servicio que se requiere asi como la frecuencia y la potencia con que se va a transmitir las señales para brindar los servicios de telecomunicaciones, siendo la parroquia La Esperanza un lugar con superficie plana facilita la comunicación al no existir relieves que impidan la propagación de las señales emitidas.

- Se especificaron los aspectos fundamentales en el tema de antenas inteligentes, tales como la interferencia cocanal, la dispersión temporal y la seguridad entre otros, que determinan los detalles para la construcción y desarrollo de esta tecnología emergente.

- Se abordó las diferentes técnicas de implementación de las antenas inteligentes en los sistemas de comunicación. Se ha descrito los distintos tipos de implementaciones posibles en sistemas de este tipo, así como los algoritmos asociados que es la base fundamental sobre la que se sustentan las antenas inteligentes.

- Se realizó una somera descripción de la viabilidad y la posible forma de aplicar esta tecnología a UMTS. en cuanto a las líneas futuras de investigación en el tema de las antenas inteligentes, en el ámbito universitario se observa una progresiva orientación hacia el estudio de la viabilidad y las prestaciones de los distintos algoritmos de conformación de haz en entornos UMTS simulados.

5.2 RECOMENDACIONES

Luego del análisis tecnológico realizado referente al diseño e implementación de una antena inteligente se recomienda:

- Estudiar las condiciones de la zona rural del cantón la Esperanza, para determinar las especificaciones de la zona.
- Diseñar una antena inteligente capaz de dar cobertura a la mayor cantidad de personas en la zona.
- Determinar la viabilidad de la implementación de la solución tecnológica, así como los costos asociados al desarrollo.

BIBLIOGRAFIA

American Radio Relay League. (2007). *The ARRL Antenna Book: The Ultimate Reference for Amateur Radio Antennas, Transmission Lines And Propagation (Arrl Antenna Book).* R. Dean Straw .

Anguera, J., & Perez, A. (2011). *Teoría de Antenas.*

Badr, A. y Fahmy, A. (2003). A Prof. Of convergente for Ant algortihms. *Information Sciences 160 issues 1-4,* , 267-279.

Balanis, C. A. (2012). *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition.* WILEY.

Balmain, E. J. (1987). *Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes.* Madrid.

Balzano. (2013). The Neal Fiel of Omnidirectional Helical Antennas. En Q.

Bonabeau, E. (1999). Swarm Intelligence: From natural to artificial systems. *Oxford University Press* .

CARDANA, A. (2008). *ANTENAS.*

Cha. (1991). Wave Propagation on Helical Antennas. En A. Cha, *Wave Propagation on Helical Antennas* (págs. 556-560).

CHRYSSOMALLIS:, M. (2000). Smart antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* , 129-136.

Cristian Perfumo, G. M. (2006). Algoritmos genéticos paralelos Aplicados a la resolución de Problemas de asignación de Frecuencias en redes celulares.

DIETRICH, C. B., STUTZMAN, W. L., KIM, B., & DIETZE, K. (2000). SMART ANTENNAS IN WIRELESS COMMUNICATIONS: BASE-STATION DIVERSITY AND HAND SET BEAFORMING. IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION MAGAZINE .

Dorigo M. et al. (1996). The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. . *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, vol. 26, no.1* , 1-13.

Ecklund, B. B. (1995). A Portable Coaxial Collinear Antenna. *IEEE Trans.Antennas Propagat.* , 903-938.

Eisenblätter, A., Koster, A. (1996). *COST 259. Wireless Flexible Personalized Communications.* Obtenido de http://fap.zib.de/problems/COST259/.

F. Comellas and J. Ozón. (2002). Agentes Distribuidos para la asignación de frecuencias hopping en redes celulares. *Primer Congreso Español de Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados*, (págs. 139-145).

FAP. (2006). *FAP - Frequency Assignment Problems*. Obtenido de http://fap.zib.de/index.php

Fujimoto & James. (2010). *Mobile Antena Systems Handbook.*

GODARA. (AGOSTO 1997). APLICATIONS OF ANTENNA ARRAYS TO MOBILE COMMUNICATIONS PART II. En G. L.C., & IEEE (Ed.), *BEAM-FORMING AND DIRECTION-OF-ARRIVAL CONSIDERATIONS* (Vol. 85, págs. 1195-1245).

Hahn R & Fikioris J. (2012). Impedance and Radiation Pattern of Antennas. En F. J. Hahn R., *Antennas and Propagation* (págs. 97-100).

Hansen, P., N. Mladenovic, y J.A.M. Pérez. (2008). Variable Neigborhood Search. *European Journal of Operational Research* , 593-595.

http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/sec_smart.html. (s.f.).

Huidobro J. (2012). *Comunicaciones moviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE.* RA-MA EDITORIAL.

J. Abril, F. Comellas, F. Cortés, J. Ozón, and M. Vaquer. (2000). A multiagent system for frequency assginment in celluar radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* , 1558-1565.

k., F. (2010). *Mobile Antena Systems Hanbook.*

Kagoshima ; Tsunekawa & Ando. (1992). Analysis of Planar Inverted-F Antena Fed by Electromagnetic Coupling. En K. K., T. K., & A. A, *Analysis of Planar Inverted-F Antena Fed by Electromagnetic Coupling* (págs. 1702-1705).

Kraus & Marhetka. (2009). *Antennas For All Applications.*

LEHNE, P. H., & PETERSEN, M. (1999). *AN OVERVIEW OF SMART ANTENNA TECHNOLOGY FOR MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS.* IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS.

M. Mouly, Marie-Bernadette Pautet. (1992). *The GSM System for Mobile.* Published by the authors.

Michalewics, Z, y D. Fogel. (2004). How to solve it . Modern Heuristics. *Springer* , 554.

monografias.com. (s.f.). Obtenido de http://www.monografias.com/trabajos69/normas-fibra-optica/normas-fibra-optica2.shtml

MORENO, O., & MIRANDA, J. (2001). *INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA DE ANTENAS INTELIGENTES. APLICACION A UMTS.*

O' Brien, J. A. & Marakas, G. M. (2008). *Management Information System.* New York: McGraw-Hill Irwin.

R. Ayuso, B. Ceña, M. Fernández, B. Milan, Ma. Saturnina Torre. (1999). *Comunicaciones Móviles GSM.* Fundacióna Airtel .

RAPPAPORT, T. (1999). *SMART ANTENNAS FOR WIRELESS COMMUNICATIONS.* USA: PRENTICE HALL.

S.M. Redl, M.K. Weber, M.W. Oliphant. (1995). *An Introduccion GSM.* Artech House Publishers.

Sakitani & Egashira. (2013). Formula de Voltages and Admittances at Connections. En S. A., & E. S., *Analysis of Coaxial Collinear Antenna* (págs. 327-331).

T. J. Judasz, W. L. (1987). The coaxial collinear antenna: Current distribution from the cylindrical antenna equation. *IEEE Trans. Antennas Propagat.* , 327-331.

T. P. SARKAR, J. K. (2000). A pragmatic approach to adaptative antennas. *IEEE Antennas and Propagations Magazine,* , 39-54.

Telecomunicaciones, L. d. (2005). *La telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información.*

Telectrónica. (2009). *INTRODUCCIÓN A LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA.*

Voudouris, C. y E.Tsang. (1995). *Guided Local Search Technical Report CSM-247 .* Department of Computer Science.

Wu ; Wu ; Bi & Litva J. (2011). Achurate Characterization of planar Printed. En W. C., W. L., B. Q., & L. J., *Antennas Using Finite-Difference Time-Domian Method* (págs. 526-534).

ANEXOS

Quevedo, 18 de mayo del 2016.

Ing.

Roque Luis Gonzaga Vivas Moreira, MSc.

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO UTEQ

Presente.-

De mis consideraciones:

Ing. Byron Wladimir Oviedo Bayas, MSc, en calidad de Director de la Tesis de maestría, cuyo tema es: **"ANTENAS PARA COMUNICACIONES MÓVILES Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS RURALES PARROQUIA LA ESPERANZA. AÑO 2016"**, me permito manifestar a usted y por su intermedio al Consejo Académico de posgrado lo siguiente:

Que, el señor Ing. Paola Maribel Benítez Navarrete, egresado del Programa de maestría en Conectividad y Redes de Ordenadores, ha cumplido con las correcciones pertinentes, de acuerdo al reglamento de Graduación de Posgrado de la UTEQ, e ingresada su tesis de grado al sistema URKUND, tengo bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema reflejando un porcentaje del 9%

Ing. Byron Wladimir Oviedo Bayas, MSc

Director de Tesis