



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
**Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo**

**Tesis de Grado**

Previo a la obtención del título de

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**  
**Mención en Gestión Empresarial**

Tema

**“ESTUDIO DEL ESTANDAR HOME RF LITE CON NORMALIZACIONES  
PARA COMUNICACIONES VIA RADIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE  
UN CUARTO DE TELECOMUNICACIONES CON CONEXIONES DE EQUIPOS  
PARA VOZ Y DATOS EN LA FINCA LIMONCITO”**

Realizado por:

**Silvio Larrea Viteri**

**Freddy Fernando Valverde Barragán**

**David Arturo Salazar Zambrano**

**Jimmy Silvano Saavedra Intriago**

**José Andrés Intriago Navarrete**

**Juan Carlos Ruilova Medina**

**Fabián Aurelio Sarmiento Cabrera**

Director

**Ing. Orlando Philco Asqui**

Guayaquil – Ecuador  
2010



**TESIS DE GRADO**

Título

**“ESTUDIO DEL ESTANDAR HOME RF LITE CON NORMALIZACIONES  
PARA COMUNICACIONES VIA RADIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE  
UN CUARTO DE TELECOMUNICACIONES CON CONEXIONES DE EQUIPOS  
PARA VOZ Y DATOS EN LA FINCA LIMONCITO”**

Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por:

**Silvio Larrea Viteri  
Freddy Fernando Valverde Barragán  
David Arturo Salazar Zambrano  
Jimmy Silvano Saavedra Intriago**

**José Andrés Intriago Navarrete  
Fabián Aurelio Sarmiento Cabrera  
Juan Carlos Ruilova Medina**

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES  
Mención en Gestión Empresarial**

**Miembros del Tribunal**

---

**Ing. Héctor Cedeño A.  
Decano de la Facultad**

---

**Ing. Pedro Tutiven López  
Director de Carrera**

---

**Ing. Orlando Philco A.  
Director de Tesis**

---

**Dr. Kléber López Parrales  
Coordinador Administrativo**

---

**Ing. Víctor del Valle Ramos  
Coordinador Académico**

## **AGRADECIMIENTO**

Al llevar a cabo ésta última labor investigativa, sentimos necesidad de agradecer:

A la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG), por habernos dado la oportunidad de realizar un trabajo de investigación.

A nuestras familias y amistades por el aliento, comprensión, la ayuda invaluable y el apoyo incondicional que siempre nos han demostrado durante la ejecución del proyecto de investigación.

Al Decano Ing. Héctor Cedeño y al Director de Carrera, Ing. Pedro Tutiven y al Coordinador Académico Víctor del Valle, quienes nos dieron el apoyo logístico para la ejecución del proyecto de investigación.

A nuestro Director de Tesis, Ing. Orlando Philco A., por su colaboración y orientación durante la investigación.

Y a todas las personas que de una forma u otra, han hecho posible la realización de esta obra. A todos ellos nuestra gratitud.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este modesto trabajo a los estudiantes de diversas Universidades del país que escogen como su carrera o profesión las telecomunicaciones, a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones, que están cursando esta prometedora carrera, queda esta tesis para que les sirva como una herramienta eficaz para realizar una investigación, a los docentes de Telecomunicaciones. A nuestros padres por la tolerancia y paciencia, para sacar a luz este trabajo investigativo.

Silvio Larrea

Freddy Valverde

David Salazar

Jimmy Saavedra

Andrés Intriago

Juan Carlos Ruilova

Fabián Sarmiento

## **RESUMEN**

La presente Tesis contempla un estudio del estándar Home RF Lite con normalizaciones para comunicaciones vía radio, se detalla en el capítulo tres, los componentes de un sistema ZigBee como también se le llama al estándar Home RF, en el capítulo cuatro se analiza las partes constitutivas de un sistema de comunicación de radiocomunicación, de los fenómenos de propagación y de los equipos empleados en las mediciones de parámetros de VHF y UHF.

Con esta información recopilada por parte de todos los integrantes del grupo de tesis, proporcionarán al alumno de Ingeniería en Telecomunicaciones un conocimiento práctico de radioenlaces a 512 MHz, esto se lo explica en los capítulos cinco y seis.

La información aquí presentada proviene de una amplia gama de fuentes, donde destacan principalmente los textos especializados en comunicaciones de radio, paginas de los fabricantes de radios, obtenidos de Internet y de los manuales de equipos que se contemplan para el desarrollo de la implementación.

El diseño y construcción de un cuarto de telecomunicaciones, es para resguardar del clima adverso los equipos sensibles de radio, para tener un suministro de voltaje ininterrumpido las 24 horas del día, esta obra se lo realiza bajo aspectos técnicos en la finca Limoncito.

## INDICE

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| AGRADECIMIENTOS.....      | I   |
| DEDICATORIA.....          | II  |
| RESUMEN.....              | III |
| INDICE DEL CONTENIDO..... | IV  |

|                   |   |
|-------------------|---|
| INTRODUCCION..... | 1 |
|-------------------|---|

### **CAPITULO I**

|   |   |
|---|---|
| ESTUDIO DEL ESTANDAR HOME RF LITE CON NORMALIZACIONES<br>PARA COMUNICACIONES VIA RADIO..... | 2 |
| 1.1 Planteamiento del problema.....   | 2 |
| 1.2 Justificación.....  | 2 |
| 1.3 Hipótesis.....  | 3 |
| 1.4 Objetivo General.....   | 3 |
| 1.5 Objetivos Específicos.....  | 4 |

### **CAPITULO II**

|  |    |
|--|----|
| SISTEMA HOME RF LITE .....                             | 5  |
| 2.1 Definición de Home RF Lite.....                    | 5  |
| 2.1.1 Estándar 802.15.4.....                           | 5  |
| 2.1.2 Desarrollo de Home RF o Zig-Bee.....             | 6  |
| 2.1.3 Características de Zig-Bee.....                  | 7  |
| 2.2 Componentes de Transceptor Zig-Bee para datos..... | 10 |
| 2.3 Zig-Bee y el modelo OSI.....                       | 12 |
| 2.4 Tipos de dispositivos Zig-Bee.....                 | 14 |
| 2.4.1 Funcionalidad.....                               | 15 |
| 2.5 Topología en redes Zig-Bee.....                    | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 2.6 Tipos de tráfico de datos.....                      | 17 |
| 2.6.1 Estrategias de conexiones en una red Zig-Bee..... | 18 |
| 2.6.2 Comunicación de dispositivos Zig-Bee.....         | 20 |
| 2.7 Seguridad.....                                      | 21 |
| 2.7.1 Modelo básico de seguridad.....                   | 22 |
| 2.7.2 Arquitectura de seguridad.....                    | 23 |
| 2.8 Técnicas de modulación.....                         | 24 |
| 2.8.1 ZigBee y su espectro compartido con WLAN.....     | 25 |
| 2.9 Aplicaciones.....                                   | 26 |
| 2.9.1 Futuro de ZigBee.....                             | 27 |

### **CAPITULO III**

|   |    |
|---|----|
| ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO.....          | 28 |
| 3.1 El espectro Radioeléctrico en el Ecuador..... | 28 |
| 3.1.1 Definiciones.....                           | 28 |
| 3.1.2 Las ondas Electromagnéticas.....            | 29 |
| 3.1.3 El espectro visible.....                    | 30 |
| 3.1.4 Espectro luminoso o ventana óptica.....     | 30 |
| 3.1.5 Espectro de Frecuencias.....                | 32 |
| 3.1.6 Espectro Radioeléctrico.....                | 33 |
| 3.2 Comunicaciones en VHF.....                    | 35 |
| 3.2.1 Banda VHF bajo.....                         | 36 |
| 3.2.2 Banda VHF alto.....                         | 36 |
| 3.3 Propagación en la región de VHF y UHF.....    | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.1 Propagación por dispersión Ionosférica.....     | 37 |
| 3.3.2 Propagación por Ráfagas Meteóricas.....         | 38 |
| 3.3.3 Propagación Auroral.....                        | 38 |
| 3.3.4 Propagación por dispersión Troposférica.....    | 39 |
| 3.3.5 Propagación transecuatorial por dispersión..... | 39 |
| 3.3.6 Propagación en capa E esporádica.....           | 40 |
| 3.3.7 Canales Troposféricos.....                      | 41 |
| 3.3.8 Difracción de “Filo de Navaja”.....             | 41 |
| 3.3.9 Propagación en línea vista.....                 | 42 |
| 3.4 Requisitos Funcionales del Receptor.....          | 43 |
| 3.4.1 Sensibilidad.....                               | 44 |
| 3.4.2 Selectividad.....                               | 45 |
| 3.4.3 Fidelidad.....                                  | 45 |
| 3.4.4 Respuesta Espuria.....                          | 46 |
| 3.4.5 CAG: Control Automático de Ganancia.....        | 46 |
| 3.4.6 Figura de Ruido.....                            | 47 |
| 3.4.7 Estabilidad.....                                | 47 |

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO RADIOENLACE FIJO Y MOVIL ENTRE UCSG Y**

|   |    |
|---|----|
| LIMONCITO.....                                | 49 |
| 4.1 Parámetros iniciales para el cálculo..... | 49 |
| 4.1.1 Antena de Transmisión.....              | 49 |
| 4.1.2 Antena de repetidor Cerro Azul.....     | 50 |
| 4.1.3 Distancia.....                          | 50 |
| 4.1.4 Frecuencia.....                         | 51 |



|  |    |
|--|----|
| 4.2 Materiales.....  | 51 |
| 4.3 Cálculo de la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)..... | 51 |
| 4.4 Nivel de Recepción.....  | 52 |
| 4.5 Margen de Desvanecimiento.....                                 | 52 |
| 4.6 Análisis de la zona de sombra en la UCSG.....                  | 53 |
| 4.6.1 Aspectos Técnicos.....                                       | 54 |
| 4.7 El Software Radio Mobile.....                                  | 55 |
| 4.7.1 Diseño del enlace con radio Mobile.....                      | 55 |

## **CAPITULO V**

### **SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA RADIOENLACE FIJO Y MOVIL**

|  |    |
|--|----|
| ENTRE UCSG Y LIMONCITO.....                                | 61 |
| 5.1 Equipos y Dispositivos a utilizar.....                 | 61 |
| 5.2 El Radio Transceptor.....                              | 61 |
| 5.2.1 La estación base.....                                | 62 |
| 5.2.2 La Radio portátil.....                               | 63 |
| 5.2.3 Radio móviles.....                                   | 63 |
| 5.3 Funcionamiento de la Radiocomunicación.....            | 64 |
| 5.4 Rango y área de cobertura.....                         | 65 |
| 5.5 Sistema unidad a unidad de radio.....                  | 67 |
| 5.6 Sistema de Despacho.....                               | 68 |
| 5.7 Repetidora.....  | 69 |
| 5.8 Área extendida.....                                    | 70 |
| 5.9 Repetidores de Radioenlace.....                        | 71 |
| 5.9.1 El Duplexor.....                                     | 72 |
| 5.9.2 Activación de Transmisión.....                       | 74 |
| 5.10 Conectores a utilizar.....                            | 75 |
| 5.10.1 Conector Mini UHF.....                              | 76 |
| 5.11 Antenas utilizadas en Radioenlace UCSG-Limoncito..... | 77 |

## **CAPITULO VI**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CUARTO**

|  |    |
|--|----|
| DE TELECOMUNICACIONES PARA LA FINCA LIMONCITO.....   | 78 |
| 6.1 Criterio del diseño.....                         | 78 |
| 6.2 Funciones de cuarto de equipo en Limoncito.....  | 81 |
| 6.3 Terminación del cuarto equipos en Limoncito..... | 82 |

## **CAPITULO VII**

### **PRUEBAS Y AJUSTES DEL SISTEMA FIJO MOVIL UCSG-**

|  |    |
|--|----|
| LIMONCITO.....   | 84 |
| 7.1 Equipos portátiles del Radioenlace.....                                | 84 |
| 7.2 Modalidad de operación de los radios portátiles en el radioenlace..... | 85 |

|   |    |
|---|----|
| CONCLUSIONES.....                           | 88 |
| RECOMENDACIONES.....                        | 90 |
| BIBLIOGRAFIA.....                           | 91 |
| ANEXO 1.....                                | 92 |
| Presupuestos del radioenlace.....           | 92 |
| ANEXO 2.....                                | 93 |
| Comparación de radio vs otros sistemas..... | 93 |
| ANEXO 3.....                                | 94 |

## INTRODUCCIÓN

Las radiocomunicaciones a nivel mundial son estandarizadas por grupos de países industrializados que crean alianzas y organizaciones respectivas, home RF lite es comúnmente llamado ZigBee, éste es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance.

ZigBee esta basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

Es fundamental que el profesional en telecomunicaciones pueda conocer y manejar nuevas alternativas de transmisión de voz, video y datos. Por primera vez, las empresas tienen una plataforma basada en estándares inalámbricos optimizadas para las necesidades únicas de monitoreo remoto y aplicaciones de control, en telemedicina, telecomunicaciones, en la industria como en el hogar.

Se dirige la tesis a estudiantes y profesionales en telecomunicaciones para que conozcan y manejen aspectos como características, componentes, topología, técnicas de modulación y aplicaciones en el futuro de ZigBee, esto se encuentra en el capítulo 2. El capítulo 3 define el estudio del espectro radioeléctrico en comunicaciones VHF y UHF. Los siguientes capítulos son de implementación, se rehabilita y potencializa comunicación de radio de dos vías, fija y móvil entre la UCSG y la finca Limoncito. Así también el diseño y construcción de un cuarto de equipos para Limoncito, allí se encontrarán en un solo lugar los equipos y dispositivos de implementaciones anteriores.

## **CAPITULO 1**

### **ESTUDIO DEL ESTANDAR HOME RF LITE CON NORMALIZACIONES PARA COMUNICACIONES VIA RADIO**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El auge desarrollado en radiocomunicación por bluetooth, WiFi tecnología venideras como Wimax, USB inalámbrico etc., no ha sido propicio para el conocimiento tecnológico a los nuevos profesionales de ingeniería en telecomunicaciones de una tecnología que está evolucionando en todo nivel. Se habla de automatismo de domótica y muchos de estos dispositivos no son interoperables lo que no hace avanzar en servicio totales y lo que es mas, en costos, tener una vivienda controlada o monitoreada remotamente es costoso. Obtener dispositivos inalámbricos que consuman bajo nivel de corriente es el gran inconveniente de las empresas fabricantes.

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Por cuanto se reduce el consumo de energía, y conocer las normalizaciones actuales que esta creando la ZigBee alianza, es prioridad para el profesional en telecomunicaciones conocer y manejar nuevas alternativas de transmisión de voz, video y datos. Uno de los objetivos es diseñar y construir un cuarto para equipos de telecomunicaciones, la finalidad es dar un espacio adecuado a los equipos y dispositivo que existen en la actualidad, así mismo se rehabilitará y potencializará el sistema de radio de 2 vías entre la Facultad Técnica y la finca Limoncito, este deberá

ser con comunicación fijo y móvil, todo el trayecto desde la Universidad Católica hacia la finca Limoncito debe alcanzar un óptimo radioenlace de voz, sea fijo o móvil, los beneficiados autoridades, investigadores, profesores y estudiantes de la Facultad Técnica.

### **1.3 HIPÓTESIS**

El estándar ZigBee es lo que usaremos muy pronto a nivel de hogar y empresarial, utilizaremos dispositivos de uso cotidiano, pues serán transmisores inalámbricos muy económicos, la movilidad y el bajísimo consumo de corriente hacen que sea una tecnología ganadora, dentro de la implementación el diseño y construcción de un cuarto de telecomunicaciones da adecuado orden y soluciones para más implementaciones tecnológicas. La rehabilitación del sistema de radiocomunicación de 2 vías, en base al estudio de propagación a efectuar para su funcionamiento tanto fijo como móvil, debe funcionar con una segunda repetidora que se ubicará en cerro Azul.

### **1.4 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el estudio del estándar home RF lite con normalizaciones actuales para comunicaciones vía radio, diseñar y construir un funcional cuarto de telecomunicaciones en la hacienda Limoncito de la Facultad Técnica.

## **1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Identificar el estándar de radiocomunicaciones 802.15.4.
2. Investigar los componentes de transmisión ZigBee.
3. Diseñar y construir un cuarto de telecomunicaciones en la finca Limoncito.
4. Rehabilitar y potencializar el sistema de radioenlace de voz de 2 vías en la banda de 512 MHz. Será con comunicación fija y móvil.

## **CAPITULO 2**

### **SISTEMA HOME RF LITE**

#### **2.1 DEFINICIÓN HOME RF LITE**

También llamado ZigBee, es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. ZigBee fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo costo, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

##### **2.1.1 ESTANDAR 802.15.4**

Las tecnologías inalámbricas han adoptado con el paso del tiempo una manera más sencilla y cómoda de utilizar toda clase de dispositivos con el fin de mejorar el confort y las comunicaciones en general. La investigación aborda la tecnología inalámbrica ZigBee, basada en el estándar 802.15.4 que por su poca introducción al mercado no es muy conocida a pesar de que no es muy reciente.

ZigBee comunica una serie de dispositivos haciendo que trabajen más eficiente entre sí. Es un transmisor y un receptor que usa baja potencia para trabajar y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

Es ideal para conexiones con diversos tipos de topología, lo que a su vez lo hace más seguro, barato y que no haya ninguna dificultad a la hora de su construcción porque es muy sencilla. ZigBee es la tecnología inalámbrica del futuro que no tiene competencia fuerte con las tecnologías existentes debidas a que sus aplicaciones son

de automatización de edificios, del hogar e industriales, especialmente para aplicaciones con usos de sensores.

### **2.1.2 DESARROLLO DE HOME RF O ZIGBEE**

ZigBee se ha desarrollado para satisfacer la creciente demanda de capacidad de red inalámbrica entre varios dispositivos de baja potencia. En la industria ZigBee se está utilizando para la próxima generación de fabricación automatizada, con pequeños transmisores en cada dispositivo, lo que permite la comunicación entre dispositivos a un ordenador central.

Para llevar a cabo este sistema, un grupo de trabajo llamado Alianza ZigBee (ZigBee Alliance) formado por varias industrias, sin ánimo de lucro, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, está desarrollando el estándar. La alianza de empresas está trabajando codo con codo con IEEE para asegurar una integración, completa y operativa.

Esta alianza en la cuales destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Philips y Motorola trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de automatización hogareña (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos.

Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth.

Esta nueva aplicación, definida por la propia ZigBee Alliance como el nuevo estándar global para la automatización del hogar, permite que las aplicaciones



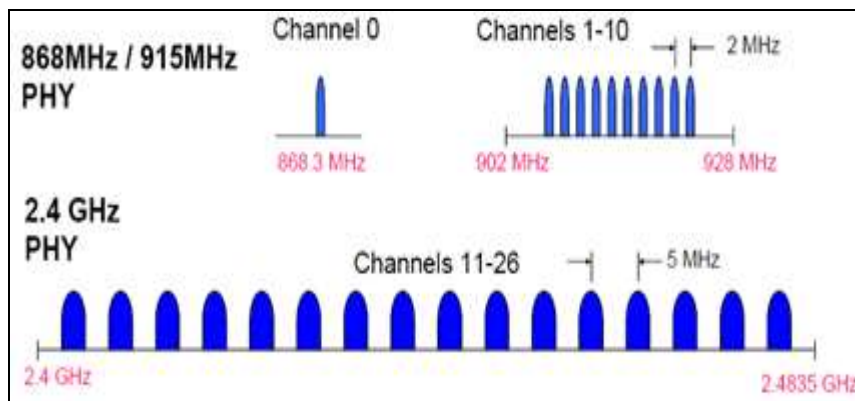
domóticas desarrolladas por los fabricantes sean completamente ínter operables entre sí, garantizando así al cliente final fiabilidad, control, seguridad y comodidad.

Además la ZigBee Alliance también deja disponible para su acceso la ZigBee Cluster Library, ofreciendo de este modo a los ingenieros y demás integradores, deseosos de trabajar bajo este estándar mundial idóneo para los servicios domóticos, bloques de construcción para aplicaciones con necesidades bajo el denominador común de la automatización residencial, reduciendo de este modo las labores de desarrollo y permitiendo implementaciones más precisas.

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE ZIGBEE**

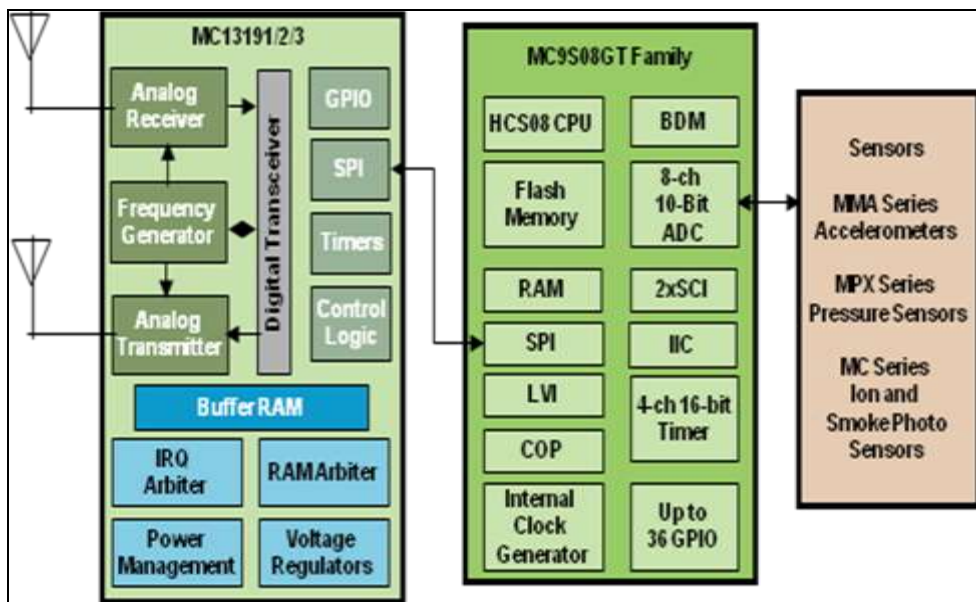
ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 Kbps y 250 Kbps.

- Los rangos de alcance son de 10 m a 75 m.
- Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee “dormido” con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.
- Opera en las bandas ISM (Industrial, Scientific & Medical).
- Acceso al canal mediante mecanismo CSMA-CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).
- Modulación O-QPSK - DSSS.
- Define 27 canales de frecuencias entre las tres bandas.
- La capa física de 868 MHz soporta 1 canal (Channel 0).
- La capa física de 915 MHz soporta 10 canales (Channel 1 al 10).
- La capa física de 2.4 GHz soporta 16 canales (Channel 11 al 26).



**Figura 2-1 Canales de operación de ZigBee**

- Un sensor equipado con un transceiver ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas “AA” durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.



**Figura 2-2 Transmisor ZigBee MC13191/2/3. 1º generación**

**Escalabilidad de red:** Un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.

**Fragmentación:** Nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.

**Agilidad de frecuencia:** Redes cambian los canales en forma dinámica en caso que ocurran interferencias.

**Gestión automatizada de direcciones de dispositivos:** El conjunto fue optimizado para grandes redes con gestión de red agregada y herramientas de configuración.

**Localización grupal:** Ofrece una optimización adicional de tráfico necesaria para las grandes redes.

**Puesta de servicio inalámbrico:** El conjunto fue mejorado con capacidades seguras para poner en marcha el servicio inalámbrico.

**Recolección centralizada de datos:** El conjunto fue sintonizado específicamente para optimizar el flujo de información en las grandes redes.

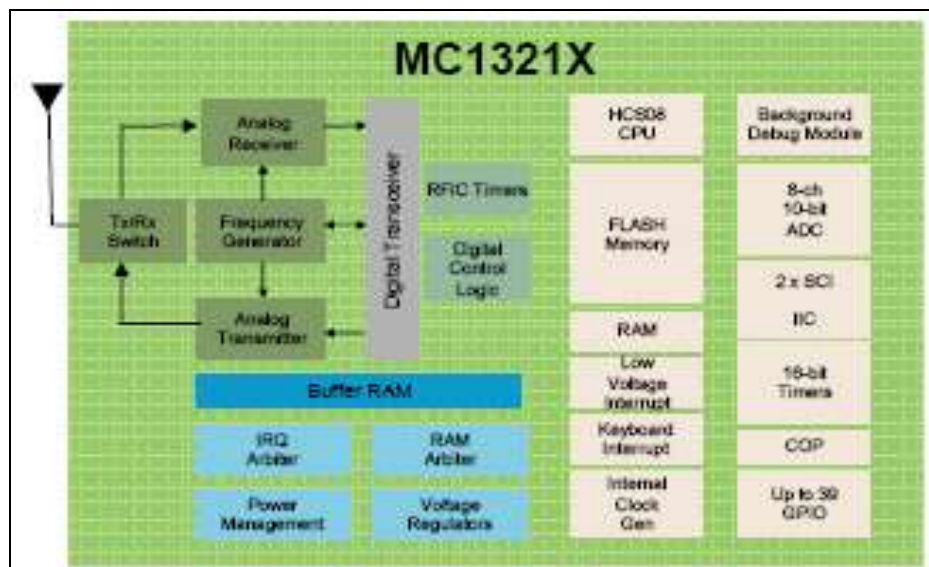


Figura 2-3 Transmisor ZigBee MC13211/2/3/4. 2º Generación

## 2.2 COMPONENTES DE TRANSEPTOR ZIGBEE PARA DATOS

Tomamos como referencia un dispositivo para radioenlace de datos, se detalla la antena ZigBee versión 1.0

### ANTENA ZIGBEE1.0

- Basada en MC13192 de Freescale 2.4GHz
- Compatible IEEE802.15.4
- Interfaz SPI.
- Pines de control en tira de paso 0.1”.
- Redes de corto alcance.
- Enlaces punto a punto y multipunto.



**Figura 2-4 Antena ZigBee 1.0**

La placa electrónica ZigBee se detalla a continuación:

### PLACAZIGBEE1.0

- MC13192 2.4GHz
- MCU Freescale (escala libre) MC9S08GT32
- 32KB FLASH, 2KB RAM

- 18 Entradas/salidas digitales
- 6 Entradas analógicas
- Interfaz RS232, IIC.
- Redes de corto alcance
- Enlaces punto a punto y multipunto



**Figura 2-5 Placa ZigBee 1.0**

También se detalla la placa ZigBee versión 2.0, una de las últimas fabricadas para radioenlaces de datos.

#### **PLACAZIGBEE2.0**

- Basada en MC13212 2.4GHz.
- Compatible IEEE802.15.4
- Switching TX/RX interno
- 32KB FLASH, 2KB RAM
- Hasta 32 GPIO.

- 8 Entradas analógicas
- Interfaz RS232, IIC, SPI, ADC10bit.
- Conector SMA para antena externa.



**Figura 2-6 Placa ZigBee 2.0**

### **2.3 ZIGBEE Y EL MODELO OSI**

Siguiendo el estándar del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), en el gráfico, aparece la estructura de la arquitectura en capas. Las primeras dos capas, la física y la de acceso al medio MAC, son definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas superiores son definidas por la Alianza ZigBee y corresponden a las capas de red y de aplicación las cuales contienen los perfiles del uso, ajustes de la seguridad y la mensajería.

Los cometidos principales de la capa de red son permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer un interfaz adecuado para su uso por parte del nivel inmediatamente

superior. Sus capacidades, incluyendo el ruteo, son las típicas de un nivel de red clásico.

Por una parte, la entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir del payload del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra.

Por otra, las funciones de control del nivel controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos routers y vecinos. El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

La trama general de operaciones (GOF) es una capa que existe entre la de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el subdireccionamiento, los modos de direccionamientos y la descripción de dispositivos, como el tipo de dispositivo, potencia, modos de dormir y coordinadores de cada uno.

Utilizando un modelo, la GOF especifica métodos, eventos, y formatos de datos que son utilizados para constituir comandos y las respuestas a los mismos.

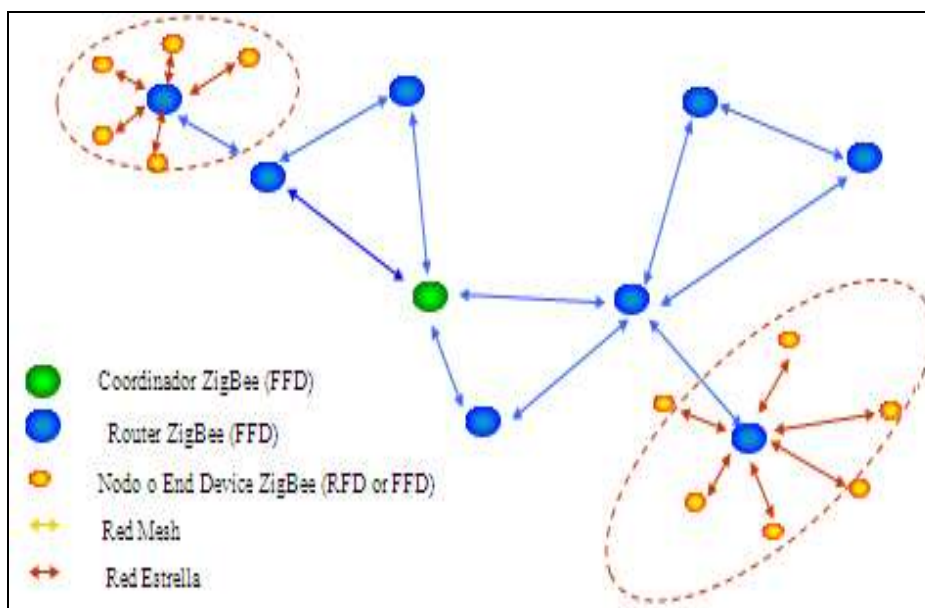
La capa de aplicación es el más alto definido por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo ZigBee y sus usuarios.

En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación: tanto los objetos de dispositivo ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) como sus procedimientos de control.

## 2.4 TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

**1. Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC):** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación. Ver figura 2-7.



**Figura 2-7 Dispositivos ZigBee**

**2. Router ZigBee (ZigBee Router, ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

**3. Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de



sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

#### **2.4.1 FUNCIONALIDAD**

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

**1. Dispositivo de funcionalidad completa (FFD):** También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaces con los usuarios.

**2. Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD):** También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

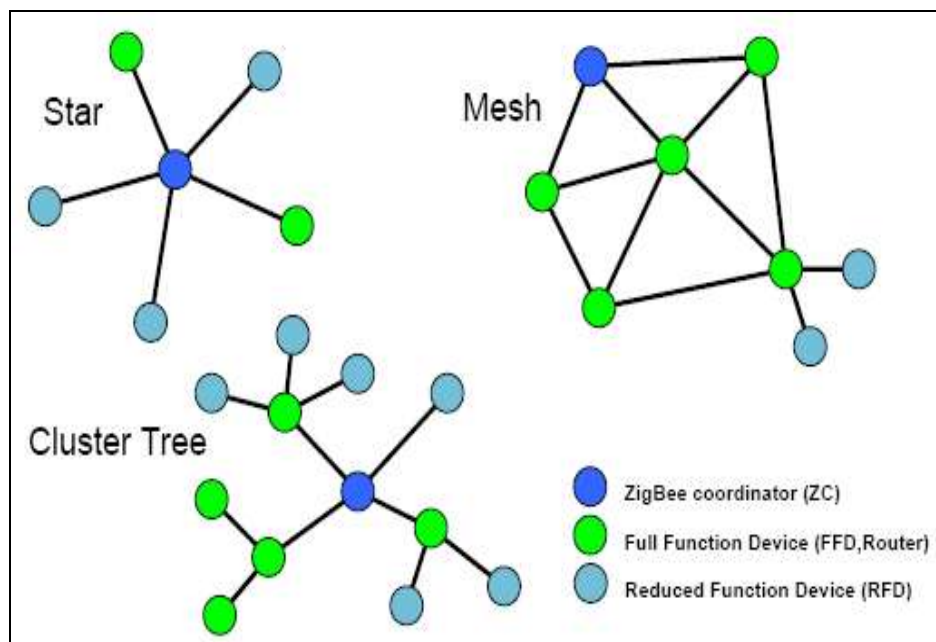
Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo (incluso muchos días seguidos). Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido.

Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms. Además de este tiempo, se muestran otras medidas de tiempo de funciones comunes:

- Nueva enumeración de los nodos esclavo (por parte del coordinador):  
aproximadamente 30 ms.
- Acceso al canal entre un nodo activo y uno pasivo: aproximadamente 15 ms.

## 2.5 TOPOLOGÍA EN REDES ZIGBEE

Se destacan como cualquier red de datos, y este sistema soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol, punto a punto y rejilla (malla). Ver la figura 2-8 donde se puede conectar en diferentes configuraciones.



**Figura 2-8 Tipos de Topología en ZigBee**

En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos ZigBee, conocidos con el nombre de dispositivos finales, hablan directamente con el coordinador.

En la configuración de rejilla, el coordinador ZigBee es responsable de inicializar la red y de elegir los parámetros de la red, pero la red puede ser ampliada a través del uso de routers ZigBee. El algoritmo de encaminamiento utiliza un protocolo de

pregunta-respuesta (request-response) para eliminar las rutas que no sean óptimas, La red final puede tener hasta 254 nodos. Utilizando el direccionamiento local, se puede configurar una red de más de 65000 nodos.

Para la topología punto a punto, existe un solo FFD Coordinador. A diferencia con la topología estrella, cualquier dispositivo puede comunicarse con otro siempre y cuando estén en el mismo rango de alcance circundante. Las aplicaciones orientadas para el monitoreo y control de procesos industriales, redes de sensores inalámbricos, entre otros, son ampliamente usados por estas redes. Proveen confiabilidad en el enrutamiento de datos (multipath routing).

La topología de árbol es un caso especial de topología de conexión punto a punto, en la cual muchos dispositivos son FFDs y los RFD pueden conectarse como un nodo único al final de la red. Cualquiera de los FFDs restantes puede actuar como coordinadores y proveer servicios de sincronización hacia otros dispositivos o coordinadores.

## **2.6 TIPOS DE TRÁFICO DE DATOS**

ZigBee/IEEE 802.15.4 dirige tres tipos de tráfico típicos:

1. **Cuando el dato es periódico:** La aplicación dicta la proporción, el sensor se activa, chequea los datos y luego desactiva.
2. **Cuando el dato es intermitente:** La aplicación, u otro estímulo, determina la proporción, como en el caso de los detectores de humo. El dispositivo necesita sólo conectarse a la red cuando la comunicación se hace necesaria. Este tipo habilita el ahorro óptimo en la energía.

**3. Cuando el dato es repetitivo:** La proporción es a priori fija. Dependiendo de las hendeduras de tiempo repartidas, los dispositivos operan para las duraciones fijas.

### **2.6.1 ESTRATEGIAS DE CONEXIONES EN UNA RED ZIGBEE**

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos esclavos. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo esclavo está en modo dormido, de tal forma que solo se despierta por una fracción de segundo para confirmar que está vivo en la red de dispositivos de la que forma parte.

Esta transición del modo dormido al modo despierto (modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la enumeración de "esclavos" dura alrededor de 30ms.

En las redes ZigBee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

#### **1. Con balizas**

Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones.

Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red domótica, y describiendo la estructura de la "supertrama".

Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos. Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento" (envío de mensajes a todos

los dispositivos -broadcast-, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él.

En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a "dormir", y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el "balizamiento", vuelve a "dormirse".

## **2. Sin balizas**

Se usa el acceso múltiple al sistema ZigBee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), duermen prácticamente todo el tiempo (el 99,99%).

Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se "despiertan" de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento (en el sistema será cuando se detecta algo), el sensor "despierta" instantáneamente y transmite la alarma correspondiente.

Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

## **2.6.2 COMUNICACIÓN DE DISPOSITIVOS ZIGBEE**

Para que los dispositivos que forman una aplicación puedan comunicarse, deben utilizar un protocolo de aplicación compartido. Estas convenciones se agrupan en perfiles.

Las decisiones de asociación se deciden en base a la coincidencia entre identificadores de clusters de entrada y salida, que son únicos en el contexto de un perfil dado y se asocian a un flujo de datos de entrada o salida en un dispositivo; las tablas de asociaciones mantienen los pares de identificadores fuente y destino.

En base a la información disponible, el descubrimiento de dispositivos puede adecuarse utilizando varios métodos distintos. Si se conoce la dirección de red, se pide la dirección IEEE utilizando unicast.

Sino es así, se pide por broadcast, y la dirección IEEE forma parte de la respuesta. Los dispositivos hoja (end devices) responden con la dirección propia solicitada, mientras que routers y coordinadores envían también las direcciones de todos los dispositivos asociados a ellos.

Este protocolo extendido permite indagar acerca de dispositivos dentro de una red y sus servicios ofrecidos a nodos externos a la misma. Los endpoints pueden informar acerca de estos servicios cuando el protocolo de descubrimiento dirige mensajes a ellos. También pueden utilizarse servicios de emparejamiento oferta-demanda.

Los identificadores de cluster favorecen la asociación entre entidades complementarias por medio de tablas de asociación, mantenidas en los coordinadores ZigBee ya que estas tablas siempre han de estar disponibles en una red (los coordinadores son, de entre todos los nodos, los que con mayor seguridad dispondrán

de una alimentación continua). Los backups a estas tablas, de ser necesarios para la aplicación, han de realizarse en niveles superiores. Por otra parte, el establecimiento de asociaciones necesita que se haya formado un enlace de comunicación; tras ello, se decide si adjuntar un nuevo nodo a la red en base a la aplicación y las políticas de seguridad.

Nada más establecerse la asociación puede iniciarse las comunicaciones. El direccionamiento directo utiliza la dirección de radio y el número de endpoint; por su parte, el indirecto necesita toda la información relevante (dirección, endpoint, cluster y atributo) y la envía al coordinador de la red, que mantiene esta información por él y traduce sus peticiones de comunicación.

Este direccionamiento indirecto es especialmente útil para favorecer el uso de dispositivos muy sencillos y minimizar el almacenamiento interno necesario. Además de estos dos métodos, se puede hacer broadcast a todos los endpoints de un dispositivo, y direccionamiento de grupos para comunicarse con grupos de endpoints de uno o varios dispositivos distintos.

## **2.7 SEGURIDAD**

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología ZigBee. ZigBee utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

**1. Control de accesos:** El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.

**2. Datos Encriptados:** Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.

**3. Integración de tramas:** Protegen los datos de ser modificados por otros.

**4. Secuencias de refresco:** Comprueban que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

### **2.7.1 MODELO BÁSICO DE SEGURIDAD**

Las claves son la base de la arquitectura de seguridad y, como tal, su protección es fundamental para la integridad del sistema. Las claves nunca deben transportarse utilizando un canal inseguro, si bien existe una excepción momentánea que se da en la fase inicial de la unión de un dispositivo desconfigurado a una red.

La red ZigBee debe tener particular cuidado, pues una red ad hoc puede ser accesible físicamente a cualquier dispositivo externo y el entorno de trabajo no se puede conocer de antemano. Las aplicaciones que se ejecutan en concurrencia utilizando el mismo transceptor deben, así mismo, confiar entre sí, ya que por motivos de coste no se asume la existencia de un cortafuegos entre las distintas entidades del nivel de aplicación.

Los distintos niveles definidos dentro de la pila de protocolos no están separados criptográficamente, por lo se necesitan políticas de acceso, que se asumen correctas en su diseño.

Este modelo de confianza abierta (open trust) posibilita la compartición de claves disminuyendo el costo de forma significativa. No obstante, el nivel que genera una trama es siempre el responsable de su seguridad.



Todos los datos de las tramas del nivel de red han de estar cifradas, ya que podría haber dispositivos maliciosos, de forma que el tráfico no autorizado se previene de raíz.

De nuevo, la excepción es la transmisión de la clave de red a un dispositivo nuevo, lo que dota a toda la red de un nivel de seguridad único. También se posible utilizar criptografía en enlaces punto a punto.

### **2.7.2 ARQUITECTURA DE SEGURIDAD**

ZigBee utiliza claves de 128 bits en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de ZigBee y el subnivel MAC) o a un enlace. Las claves de enlace se establecen en base a una clave maestra que controla la correspondencia entre claves de enlace.

Como mínimo la clave maestra inicial debe obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), ya que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia.

Los distintos servicios usarán variaciones unidireccionales (one-way) de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad. Es claro que la distribución de claves es una de las funciones de seguridad más importantes.

Una red segura encarga a un dispositivo especial la distribución de claves: el denominado centro de confianza (trust center). En un caso ideal los dispositivos llevarán precargados de fábrica la dirección del centro de confianza y la clave maestra inicial. Si se permiten vulnerabilidades momentáneas, se puede realizar el transporte como se ha descrito. Las aplicaciones que no requieran un nivel

especialmente alto de seguridad utilizarán una clave enviada por el centro de confianza a través del canal inseguro transitorio.

Por tanto, el centro de confianza controla la clave de red y la seguridad punto a punto. Un dispositivo sólo aceptará conexiones que se originen con una clave enviada por el centro de confianza, salvo en el caso de la clave maestra inicial. La arquitectura de seguridad está distribuida entre los distintos niveles de la siguiente manera:

El subnivel MAC puede llevar a cabo comunicaciones fiables de un solo salto. En general, utiliza el nivel de seguridad indicado por los niveles superiores.

El nivel de red gestiona el ruteo, procesando los mensajes recibidos y pudiendo hacer broadcast de peticiones. Las tramas salientes usarán la clave de enlace correspondiente al ruteo realizado, si está disponible; en otro caso, se usará la clave de red.

El nivel de aplicación ofrece servicios de establecimiento de claves al ZDO y las aplicaciones, y es responsable de la difusión de los cambios que se produzcan en sus dispositivos a la red. Estos cambios podrían estar provocados por los propios dispositivos (un cambio de estado sencillo) o en el centro de confianza, que puede ordenar la eliminación de un dispositivo de la red, por ejemplo.

## **2.8 TÉCNICAS DE MODULACIÓN**

ZigBee opera en dos bandas de frecuencia:

- 2.4 GHz con tasa máxima de transferencia de 250 Kbps, para este caso, modula en

O-QPSK (Modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal).

- 868-928 MHz para tasa de datos entre 20 y 40 Kbps, para este otro, modula en BPSK (Modulación con desplazamiento de fase binaria).

#### **a) Modulación OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying)**

La modulación OQPSK consiste en realizar una transición de fase en cada intervalo de señalización de bits, por portadora en cuadratura.

#### **b) Modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying)**

En esta modulación se tiene como resultados posibles dos fases de salida para la portadora con una sola frecuencia. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están  $180^\circ$  fuera de fase.

### **2.8.1 ZIGBEE Y SU ESPECTRO COMPARTIDO CON WLAN**

Se detalla datos técnicos fundamentales en la operación de bandas específicas del espectro radioeléctrico.

- Un canal entre 868MHz y 868.6MHz, Ch1 hasta Ch10.
- Diez canales entre 902.0MHz y 928.0MHz, Ch1 hasta Ch10.
- Dieciséis canales entre 2.4GHz y 2.4835GHz, Ch11 hasta Ch26.

Como dato adicional, el estándar ZigBee especifica una sensibilidad en el receptor de -85dBm en la banda de los 2.4GHz. Y una sensibilidad de -92dBm en la banda 865/915MHz. Esto significa que es muy “nítida” la comunicación entre transceptores ZigBee.

## 2.9 APLICACIONES

Los protocolos ZigBee están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético.

Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo coste (redes en malla, en concreto).

Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos o domótica. La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.



**Figura 2-9 Aplicaciones ZigBee**

### **2.9.1 FUTURO DE ZIGBEE**

Se espera que los módulos ZigBee sean los transmisores inalámbricos más baratos de la historia, y además producidos de forma masiva. Tendrán un costo aproximado de alrededor de los 8 dólares, y dispondrán de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería. Ofrecerán una solución tan económica porque la radio se puede fabricar con muchos menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.

## **CAPITULO 3**

### **ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO**

#### **3.1 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ECUADOR**

Técnicamente el espectro electromagnético es una franja de espacio alrededor de la tierra a través del cual se desplazan las ondas radioeléctricas.

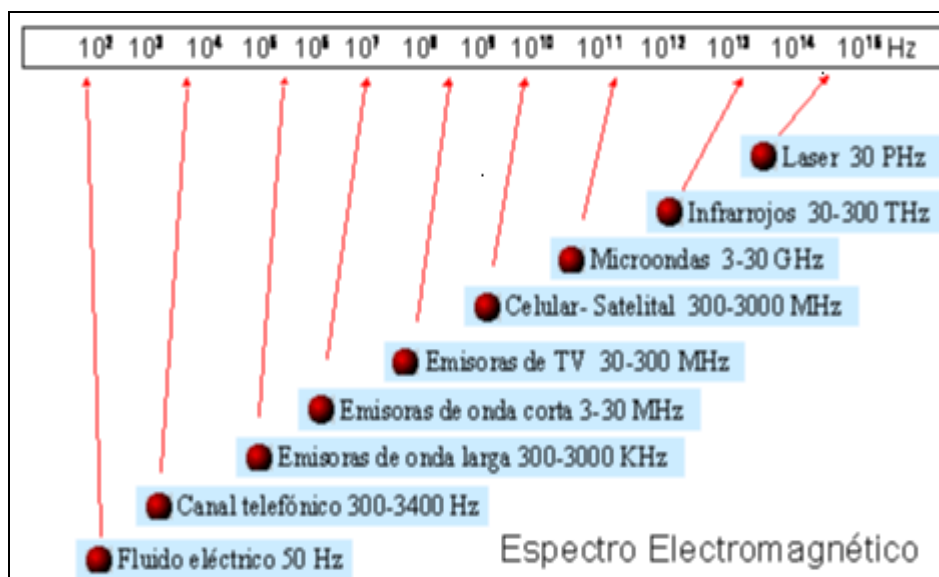
El Estado esta facultado para intervenir por mandato de la ley para garantizar el pluralismo informativo y la competencia y evitar las prácticas monopolísticas en el uso del citado bien. La radio, la televisión, la telefonía, la difusión por cable, el telégrafo, el télex, etc., son algunos de los medios que utilizan el espectro electromagnético para enviar y recibir mensajes, y en general toda clase de datos o información. Por tanto también ven limitada su libertad de fundar medios masivos de comunicación, pues al hacer uso del espectro electromagnético, tienen que subordinarse necesariamente a las normas que lo reglamentan.

De acuerdo con nuestra Carta Magna, el espectro electromagnético es un bien público inajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza así mismo la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. (Constitución Nacional Art. 75)

##### **3.1.1 DEFINICIONES**

El Espectro Electromagnético, también se puede definir como el conjunto de ondas electromagnéticas o lo que es lo mismo, de la energía que transportan y se agrupan en las ondas de radio, las infrarrojas, microondas, la luz visible, la luz ultravioleta,

los rayos X y los rayos gamas: todas estas son formas de energía similares, pero se diferencian en la frecuencia y la longitud de su onda. Van desde las de menor longitud de onda y por lo tanto mayor frecuencia y energía, como son los rayos cósmicos, rayos gamma, y rayos x, pasando por la luz ultravioleta, luz visible (que en realidad ocupa una estrecha franja del espectro Electromagnético), infrarroja, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda y menor energía como son las ondas de radio. En cualquier caso, cada una de las categorías es de ondas de variación de campo electromagnético. Véase la figura 3.1



**Fig. 3-1 El Espectro Electromagnético**

### 3.1.2 LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

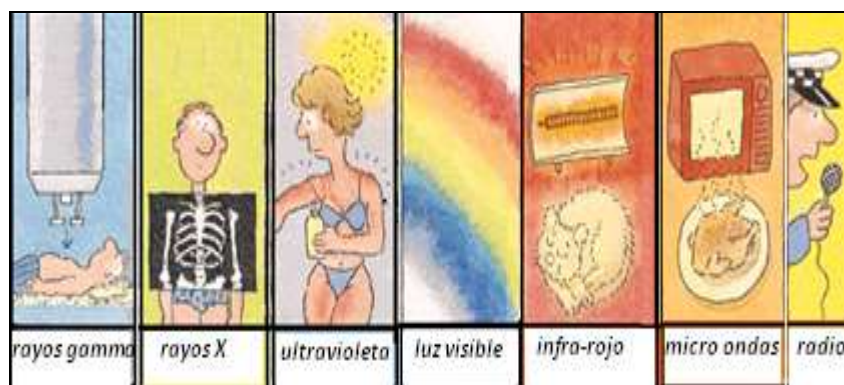
Las ondas electromagnéticas están formadas por un campo magnético y un campo eléctrico perpendiculares entre sí, se propagan en cualquier medio; no precisan de medios materiales para su propagación. En el vacío, dicha perturbación avanza a la

velocidad de luz, 300.000 km/s. Así las O.E., transportan energía sin que haya transporte de materia.

### 3.1.3 EL ESPECTRO VISIBLE

La pequeña gama de frecuencias a la que es sensible el ojo humano se conoce como Espectro Visible. El espectro visible está centrado en una frecuencia del orden de  $5 \times 10^{14}$  Hertz. Cuando todas las frecuencias del espectro visible llegan al ojo humano simultáneamente, vemos “Luz Blanca”. La máxima sensibilidad del ojo humano se encuentra sobre la longitud de onda del color verde, alrededor de los 550 nm. (nano metros), es decir  $10^{-9}$  metros.

El espectro visible, llamado también ventana óptica, comprende desde los 380nm, hasta los 780 nm aproximadamente.



**Figura3-2 de menor a mayor a longitud de onda**

### 3.1.4 ESPECTRO LUMINOSO O VENTANA ÓPTICA

Es la parte del espectro electromagnético comprendido entre 300 y 1500 nm. Aquí englobamos el espectro visible y el espectro luminoso no visible. Por encima de los



780 nm tenemos las radiaciones infrarrojas y por debajo de los 380 nm tenemos las ultravioletas.

Un aspecto importante de la teoría del color es la diferencia entre el color luz (el que proviene de una fuente luminosa coloreada) y el color pigmento o color materia (óleo, témpera, lápices de color, etcétera).

Gracias a Newton (1642-1727) sabemos que la luz blanca al descomponerse origina los siete colores del espectro visible: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul cian, azul y violeta. La suma de todos los colores del espectro luminoso recompone la luz blanca

Se debe señalar que del amplio espectro electromagnético, sólo una pequeña parte puede ser percibida por el ojo humano. Por debajo del violeta se encuentran longitudes de onda menores como los rayos ultravioleta y por encima del rojo se hallan longitudes de onda mayores como los rayos infrarrojos.

Para el color luz se utiliza un criterio de orden aditivo o, mejor dicho, de síntesis aditiva. Esto significa que a medida que sumamos color luz se restituye gradualmente el blanco.

De la serie de colores que componen el espectro luminoso podemos diferenciar tres colores fundamentales o primarios. Ellos dan origen a los otros colores y son: rojo, verde y violeta. De las respectivas mezclas de estos colores derivan los llamados colores secundarios o complementarios.

La luz visible es una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio o los rayos X, la única diferencia es que los seres humanos somos capaces de captarla e interpretarla a través del sentido de la vista.

Dentro del espectro electromagnético, la longitud de onda de la luz visible ocupa un espacio que va desde aproximadamente los 4000 Amstrong (1 Amstrong = 1 diezmillonésima de milímetro) que correspondería a un color violeta claro, hasta los 7600 Amstrong que corresponde un tono rojo oscuro.

Entre esta franja de longitudes de onda quedarían englobados el resto de colores que percibimos. La figura 3-3 muestra longitudes de onda con su respectiva frecuencia.



**Fig. 3-3 Frecuencias y longitudes de onda**

### 3.1.5 ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Es el nombre que recibe una pequeña parte del espectro electro magnético, es decir, el conjunto de radiaciones emitidas por los cuerpos en el universo. Las radiaciones, que con forma de ondas y fotones conforman el espectro electromagnético, incluyen

el espectro de luz visible, las radiaciones infrarrojas (por debajo del espectro de luz visible) y las radiaciones ultravioleta (por encima del espectro de luz visible). Dentro de estas frecuencias también se encuentran todos los fenómenos factibles de ser escuchados por el oído humano.

La frecuencia de un fenómeno es básicamente el rango de vibración de la fuente de energía que lo emite. Cuando modulamos, es decir, restringimos la emisión dentro de una serie de parámetros de energía dados, podemos utilizar la emisión para enviar señales posibles de ser entendidas por un aparato de recepción de las mismas.

Si la frecuencia depende de la combinación de la velocidad de la emisión con la distancia entre los picos de onda, la modulación de la amplitud sería la distancia entre los picos de la frecuencia.

Se creó la UIT (Unión Internacional de Radiocomunicaciones) para la asignación específica de frecuencias a determinados fines, la creación de bandas propiamente tales, y sobre todo, el acato y respeto internacional de todos los acuerdos, permiten hablar hoy en día del espectro de frecuencias como un recurso verdaderamente mundial, tanto en su uso como en su administración.

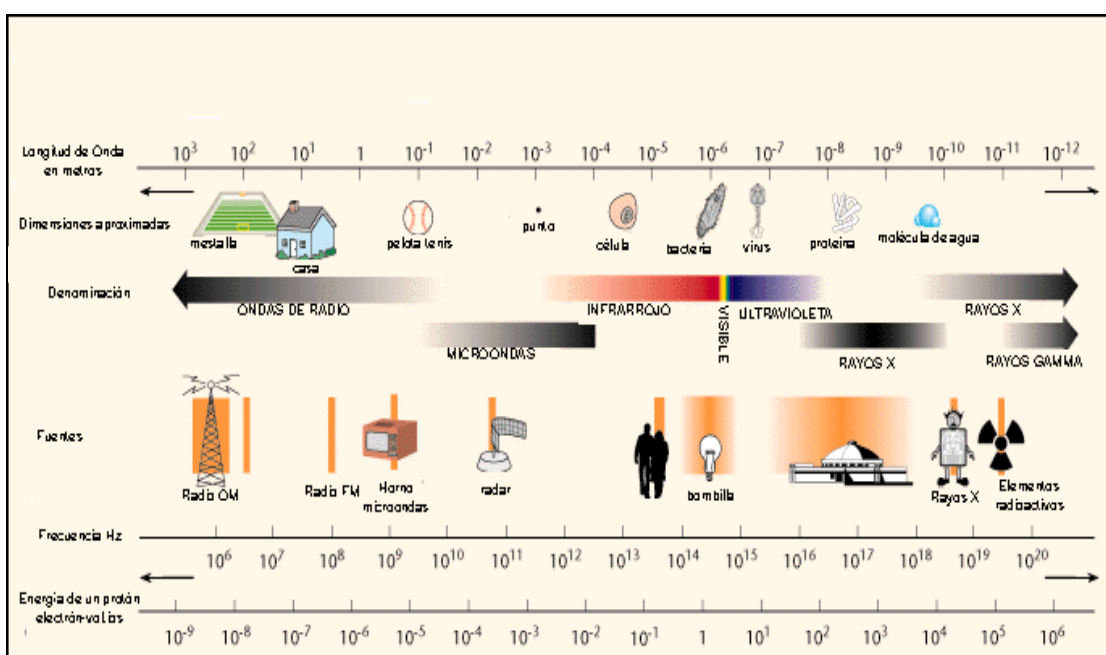
### **3.1.6 LA UIT Y EL ESPECTRO RADIOELECTRICO**

Según UIT el espectro radioeléctrico es el conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial.

Es de propiedad exclusiva del estado y como tal constituye un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control

corresponden al Ministerio de Telecomunicaciones de conformidad con la legislación vigente.

Por espectro radioeléctrico, la Unión Internacional de Radiocomunicaciones (U.I.T.) define las frecuencias del espectro electromagnético usadas para los servicios de difusión, servicios móviles, de policía, bomberos, radioastronomía, meteorología y fijos.



**Figura 3-4 Frecuencias del espectro electromagnético**

Ampliando el concepto de Espectro Radioeléctrico podemos decir que es el medio o espacio por donde se propagan las ondas radioeléctricas, se trata de un conjunto de radiofrecuencias cuyo límite se fija convencionalmente por debajo de 3 GHz.

Con el propósito de reglamentar y normalizar los servicios de radiocomunicación en el ámbito nacional, se tienen en cuenta los acuerdos internacionales, así como las

modalidades propias que resultan de satisfacer las necesidades internas de uso del espectro radioeléctrico en el país. Por tanto, se deben considerar las disposiciones establecidas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT las cuales aparecen en el Cuadro de la atribución de bandas de frecuencias.

### **3.2 COMUNICACIONES EN VHF**

En el Ecuador, se ha establecido una subdivisión por bandas en las frecuencias de VHF, cada una de las cuales presenta características de propagación diferentes. Con esto la SUPERTEL destina estas bandas a diversas aplicaciones.

La característica distintiva de las ondas de radio de VHF, UHF y SHF (a partir de los 30MHz) es su corto alcance sobre la superficie terrestre. Se limita a decenas de kilómetros para comunicaciones directas punto a punto entre estaciones terrenas. Cuando atraviesan la atmósfera no se reflejan en las diferentes capas, las atraviesan totalmente y se pierden en el espacio exterior.

El límite es el horizonte óptico. La televisión y la radio en frecuencia modulada se transmiten en VHF, con alcance local solamente. Para comunicaciones a miles de kilómetros se utilizan satélites artificiales que reflejan la señal que llega en línea recta y retorna hacia la superficie.

En ciertas condiciones se pueden aprovechar las características de refracción de la atmósfera y se logran distancias considerables durante períodos variables de tiempo, que incluso pueden permanecer durante días.

La capa de la atmósfera que tiene mayor influencia sobre las frecuencias de VHF y superiores es la troposfera, gobernada por los cambios de clima. Las condiciones de

propagación de VHF, al igual que los cambios climáticos, se pueden predecir con relativa exactitud.

### **3.2.1 BANDA VHF BAJO.**

Las frecuencias de esta banda, son utilizadas para establecer enlaces monocanales del tipo fijo o móvil. Su propagación se puede considerar como una transición entre las bandas HF y VHF alto, siendo afectada ocasionalmente por interferencias de largo alcance, causadas por reflexiones esporádicas en la ionosfera.

En relación al VHF alto, esta banda presenta menores atenuaciones tanto de espacio libre como por obstrucciones del trayecto, pero requiere el uso de potencias más elevadas y antenas de mayor tamaño. Su aplicación resulta más adecuada en zonas rurales, debido principalmente al alto nivel de ruido radioeléctrico presente en áreas urbanas.

### **3.2.2 BANDA VHF ALTO**

Las bandas de esta banda son utilizadas principalmente para establecer enlaces monocanales, del tipo fijo o móvil.

Su propagación, genéricamente en línea visual, se ve afectada principalmente por la atenuación de espacio libre, creciente con la frecuencia, y por las condiciones topográficas del terreno involucrado, que ocasiona reflexiones, difracciones y trayectos múltiples.

Las condiciones anómalas de propagación resultan poco probables en esta banda, lográndose enlaces confiables que operan, por lo general, libres de interferencias.

Su aplicación resulta muy conveniente para sistemas móviles de amplia cobertura, en áreas urbanas, suburbanas y rurales, debido principalmente a la notoria disminución

del ruido radioeléctrico existente en esta banda, obteniéndose buenos resultados con potencias comparativamente menores y antenas a tamaño razonable, que proporcionan ganancias adecuadas.

### **3.3 PROPAGACIÓN EN LA REGIÓN DE VHF Y UHF**

En la región VHF, prevalece la propagación directa, esporádicamente propagación Ionosférica o Troposférica.

En la UHF, está exclusivamente la propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales. En la implementación la frecuencia de operación del radioenlace de voz fijo y móvil es a 512 MHz, es decir se utiliza la banda de UHF.

#### **3.3.1 PROPAGACIÓN POR DISPERSIÓN IONOSFÉRICA**

La propagación por dispersión ionosférica permite la comunicación en el margen de frecuencias comprendido entre los 30 y 300MHz a distancias que varían desde 1000 Km. a casi 2000 Km. se cree que este tipo de propagación es debido a la dispersión de la señal desde la capa inferior, o posiblemente desde la capa E.

A causa de que sólo una pequeña porción de la energía radiada es dispersada y retornada a la Tierra, estas señales dispersas son muy débiles.

La propagación por onda espacial crea interferencias indeseables para una señal dispersa y producen el desvanecimiento selectivo en un circuito de enlace por dispersión. La dispersión ionosférica parece limitada a la distancia de un solo salto. Arriba de UHF, las frecuencias no están afectadas por la ionosfera debido a su pequeña longitud de onda, por lo que debe haber una frecuencia máxima de

transmisión de ondas de cielo que se puedan refractar de vuelta a la tierra sin perderse. A esta frecuencia se le llama Frecuencia crítica.

De forma similar, el máximo ángulo vertical de una onda tal que sea refractada de vuelta a la tierra es el Ángulo crítico

### **3.3.2 PROPAGACIÓN POR RÁFAGAS METEÓRICAS**

Cuando incide un meteoro en la atmósfera terrestre, se forma una región cilíndrica de electrones libres en la capa E. Esta delgada columna ionizada es muy larga, y cuando se forma inicialmente, es suficientemente densa para reflejar las ondas de radio hasta la Tierra. Las frecuencias comprendidas en el margen de 50-80MHz. son las mejores para transmisión por ráfagas meteóricas.

### **3.3.3 PROPAGACIÓN AURORAL**

En los polos de la Tierra, donde la atmósfera está más rarificada, la radiación del Sol no es sólo causa de ionización, sino que a menudo también es causa de que las moléculas se quemem.

Este fenómeno es lo que se conoce como aurora. Estas ocurren en la alta capa E de la ionosfera y se pueden ver a distancias de hasta 960 Km. desde el punto cenit.

Las auroras impiden la comunicación por radio en altas frecuencias y producen una severa absorción de cualquier onda de HF que pase a través o cerca de la zona auroral.

La propagación auroral de señales VHF es común en frecuencias comprendidas entre los 100 y 450MHz. La propagación implica la reflexión de la onda bajo el efecto de la aurora. Las propiedades de reflexión de la aurora varían muy rápidamente, a

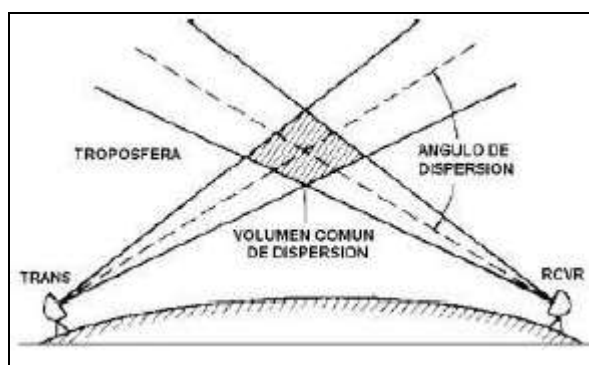


consecuencia de lo cual la señal de VHF reflejada resulta muy distorsionada por efectos de trayectorias múltiples.

### 3.3.4 PROPAGACIÓN POR DISPERSIÓN TROPOSFÉRICA

La dispersión troposférica se supone que es originada por irregularidades aleatorias en la atmósfera cuyo índice de refracción difiere del valor medio de las zonas circundantes. El efecto de dispersión parece tener lugar por reflexión parcial allí donde hay un rápido cambio de índice de reflexión y un pequeño margen de altitud asociados con cambios de temperatura y de humedad. El resultado de la refracción por dispersión es una débil difusión de la señal en el suelo más allá del horizonte.

El mecanismo de la dispersión hacia delante implica una gran pérdida de transmisión y llega a ser necesario utilizar antenas de alta ganancia y haz estrecho para transmisión y recepción. Sin embargo, se pueden obtener señales usualmente consistentes en alcances que exceden de 650Km.



**Figura 3.5 Geometría del sistema de Dispersión Troposférica.**

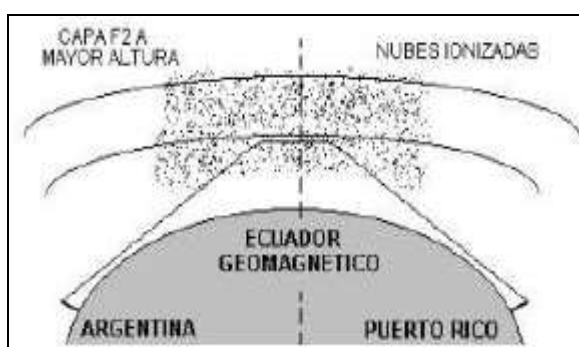
### 3.3.5 PROPAGACIÓN TRANSECUTORIAL POR DISPERSIÓN

Se cree que la dispersión transecutorial (dispersión T-E) es debida a una distorsión altamente ionizada que existe en la ionosfera sobre el ecuador magnético. Las ondas

que entran en ésta área en ángulo favorable son reflejadas a considerables distancias, 8000 Km. o más, sin reflexión intermedia en la tierra.

La dispersión T-E es un fenómeno de propagación nocturna, que ocurre entre las 20 y las 23 horas (hora local natural) en el punto medio de la trayectoria. Las señales deben cruzar el ecuador magnético en dirección norte-sur o de lo contrario no tendrá lugar la propagación.

La máxima frecuencia utilizable para propagación transecuatorial es aproximadamente 1.5 veces más alta que la MUF diurna observada en la misma trayectoria.



**Figura 3.6 Enlace de países mediante dispersión T-E**

### **3.3.6 PROPAGACIÓN EN CAPA E- ESPORÁDICA**

Es una forma popular de comunicación para radioaficionados en las frecuencias de HF y VHF que no requiere un equipo de estación especial. Las “aperturas” E esporádicas en las bandas más altas de frecuencia se pueden predecir ordinariamente observando las características de la banda de 28MHz.

La geometría de propagación es tal que cuando la distancia de salto disminuye en la banda de 28MHz, la frecuencia más alta que se refleja por una nube esporádica E aumenta.

La experiencia ha demostrado que cuando se oyen señales de salto a distancias menores de 800Km en la banda de 10 metros, hay mucha probabilidad de que se observe propagación E esporádica en la banda de 50MHz y en la misma dirección.

### **3.3.7 CANALES TROPOSFÉRICOS**

Los canales o conductos troposféricos de señales VHF ocurren a menudo y son consecuencia del cambio de índice de refracción de la atmósfera en la capa límite entre masas de aire de diferentes temperaturas y humedades.

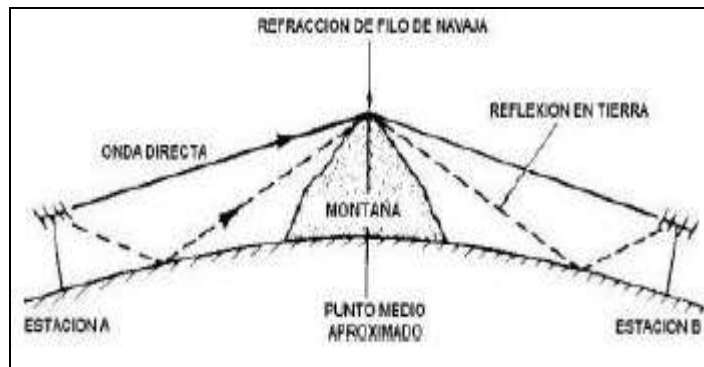
Haciendo uso de una analogía se puede decir que el aire más denso al nivel de la superficie de la Tierra hace que sea más lento el frente de onda que las capas superiores en que el aire está más rarificado, curvando hacia abajo el camino de propagación.

La comunicación troposférica a consecuencia de los conductos de propagación es rara por debajo de los 144MHz, pero ocurre comúnmente en el margen de 144 a 450MHz.

### **3.3.8 DIFRACCIÓN DE “FILO DE NAVAJA”**

En ciertas condiciones es posible que una serie de colinas o una cadena de montañas presenten una notable difracción de ondas de VHF que viajan sobre las crestas. Este fenómeno de propagación de onda se llama curvatura de filo de navaja.

La trayectoria de transmisión en un camino de difracción de filo de navaja depende críticamente de la forma de este filo o borde, la distancia que separa las estaciones y el ángulo desde éstas hasta el obstáculo. En la figura 3-7 se muestra la difracción que se produce por un pico de montaña cuando la señal de radioenlace debe pasar por ese camino.



**Figura 3.7 Difracción de tipo filo de navaja**

### **3.3.9 PROPAGACIÓN EN LÍNEA VISTA**

En condiciones normales de propagación el índice de refracción de la atmósfera disminuye con la altura porque las ondas se desplazan más lentamente cerca del suelo que a grandes altitudes. Esta variación de velocidad con la altura da lugar a un encurvamiento de la onda hacia la superficie de la Tierra. En condiciones atmosféricas inusuales, el índice de refracción puede aumentar con la altitud, haciendo que la onda se curve hacia arriba y dando lugar a una disminución de la trayectoria visual.

La mayor parte del tiempo hay curvatura hacia arriba en las regiones de VHF y UHF y puede ser representada por propagación en línea recta, pero con el radio de la tierra modificado de modo que la curva relativa permanezca invariable. El nuevo radio de la tierra es lo que se conoce por radio efectivo de la Tierra (K).

El valor medio de K en un clima templado es aproximadamente 1.33 (4/3). La distancia al horizonte de radio sobre tierra uniforme, cuando la altura  $h$  es muy pequeña comparada con el radio de la Tierra y viene dada con aproximación aceptable por:

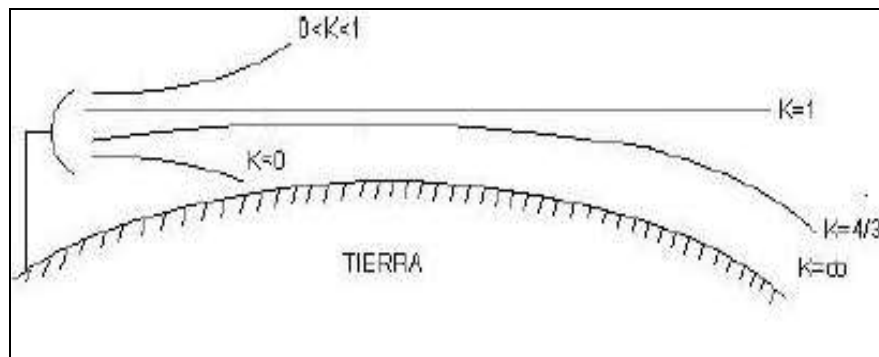
$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot K \cdot h}{2}}$$

Donde:

h= altura en pies sobre la superficie de la Tierra

d= distancia al horizonte de radio en millas

K= radio efectivo de la Tierra en millas.



**Figura 3.8 Posibles trayectos de onda según los valores del factor K.**

### 3.4 REQUISITOS FUNCIONALES DEL RECEPTOR

Las características funcionales del receptor se pueden definir en función de parámetros, tales como:

- Sensibilidad
- Selectividad
- Fidelidad
- Respuesta espuria
- CAG (Control Automático de Ganancia)
- Relación señal a ruido
- Estabilidad

- Rango dinámico de señal

- Ganancia de compresión.

Otros factores son entregados en las especificaciones técnicas del receptor, pero estas propiedades son las de mayor interés al usuario. Un receptor de comunicaciones correctamente diseñado debe ser capaz de recibir todos los modos de emisión usados en la banda de recepción sin perjuicio de satisfacer los mínimos niveles de prestación en estos aspectos importantes de operación.

### **3.4.1 SENSIBILIDAD**

Es la capacidad de un receptor de recibir señales débiles y poderlas reproducir sin distorsión y con un valor de relación señal a ruido lo mayor posible.

La sensibilidad de un receptor puede ser definida como la entrada de señal requerida para proporcionar una señal más ruido de salida con un nivel (usualmente 10dB) sobre el ruido de salida del receptor. Un receptor perfecto “sin ruido” no debiera generar ruido interno y su sensibilidad debería estar limitada solamente por el ruido térmico relativo al lugar de recepción.

Por debajo de los 30MHz aproximadamente, el factor limitante en la recepción de señales débiles es el ruido externo y no el ruido interno del receptor.

El movimiento aleatorio de los electrones, o ruido por agitación térmica, es proporcional a la temperatura absoluta y es independiente de la frecuencia, cuando el ancho de banda absoluto y la impedancia de entrada del receptor son constantes.

La sensibilidad depende fundamentalmente de las etapas de RF (antena y mezclador) y de FI, ya que la sensibilidad será mayor cuanto mayor sea la ganancia de las etapas

de RF, porque de esa forma mayor será la señal de entrada a la etapa de mayor ruido que es la convertora y a su salida mayor será la relación señal a ruido.

### **3.4.2 SELECTIVIDAD**

La selectividad es la medida de la habilidad de un receptor para aceptar una banda de frecuencias determinada y rechazar las otras, o sea, para distinguir la señal deseada entre señales muy próximas o adyacentes.

El ancho de banda o paso de banda debe ser lo suficientemente amplio para dejar pasar la señal y sus bandas laterales si se desea una reproducción fiel de la señal. Por ejemplo, para la recepción de una señal broadcast de amplitud modulada de doble banda lateral, se requiere un paso de banda de cerca de 10KHz.

### **3.4.3 FIDELIDAD**

La fidelidad eléctrica del receptor es la cualidad de reproducir la información con la menor distorsión posible de la señal de entrada (modulante), o sea, representa la respuesta en frecuencia del receptor.

Cualquier variación en la frecuencia, fase o amplitud que esté presente en la forma de onda demodulada invertida y que no estaba en la señal original se considera como distorsión.

Esencialmente, hay tres formas de distorsión que pueden deteriorar la fidelidad de un sistema de comunicación: amplitud, frecuencia y fase.

- La distorsión de fase no es importante para la transmisión de voz, porque el oído humano es relativamente insensible a estas variaciones. Sin embargo, este tipo de distorsión puede ser devastadora para la transmisión de datos. La causa predominante de la distorsión de fase es el filtrado.

- □ La distorsión de amplitud ocurre cuando las características de amplitud contra frecuencia de la señal, en la salida del receptor, difieren de la señal original de información. Generalmente es el resultado de la *ganancia no uniforme* en los amplificadores y filtros.
- □ La distorsión de frecuencia ocurre cuando están presentes en una señal recibida las frecuencias que no estaban presentes en la información de la fuente original. La distorsión de frecuencia es un resultado de la distorsión de armónicas y de intermodulación y es provocada por la amplificación no lineal.

#### **3.4.4 RESPUESTA ESPURIA**

El sello de un buen aparato receptor es la capacidad de rechazar señales espurias ajenas a la banda de paso del receptor y de no generar señales espurias dentro de la banda de paso.

Mientras el receptor superheterodino es aceptado universalmente como la mejor combinación de principios de circuito para una óptima recepción, el dispositivo tiene desventajas prácticas que deberían ser reconocidas. La gran deficiencia de este tipo de receptores es su susceptibilidad a varias formas de respuestas espurias y su complejo diseño y ajuste necesario para reducir estas. Muchas de estas respuestas, pero no todas, son el resultado de la conversión de frecuencia.

#### **3.4.5 CAG: CONTROL AUTOMÁTICO DE GANANCIA**

Los receptores actuales cuentan con una función llamada control automático de ganancia (CAG). Este tiene por finalidad mantener el nivel de salida de audio más o menos constante dentro de ciertos límites, aunque el nivel de la señal de RF captada por la antena varíe dentro de ciertos niveles. Este circuito actúa modificando la ganancia de las etapas de RF/FI de forma de compensar las variaciones del nivel de



la señal de entrada. Este circuito no puede controlar todos los niveles de RF por lo cual sólo tiene acción dentro de un rango delimitado de niveles de entrada.

Otra característica de este circuito es que su respuesta es lenta, de forma de no interferir con los cambios de niveles de audio propio de la señal modulante. Sólo actúa sobre los cambios de nivel medio de la señal de RF durante un cierto tiempo.

### **3.4.6 FIGURA DE RUIDO**

Expresada en decibeles, la figura de ruido de un receptor es:

$$F = 10 \cdot \log \frac{N_2}{N_1}$$

Donde; N1 y N2 son la potencia de figura de ruido en watts y representan la salida de un receptor actual, (N2) a 290°K (20°C aprox), dividido por la potencia de ruido de salida de un receptor ideal (N1) a la misma temperatura.

La figura de ruido de un receptor puede ser obtenida por medición directa con un generador de ruido. La entrada del receptor es terminada con un resistor y ruido aleatorio generado por agitación térmica en un generador adecuado es ingresado al circuito de entrada del receptor.

La potencia de salida es medida sin ruido de entrada y la salida del generador es incrementada hasta que el ruido de salida del receptor se redobla. La figura de ruido es una función de estos dos niveles y puede ser calculado a partir de estas mediciones.

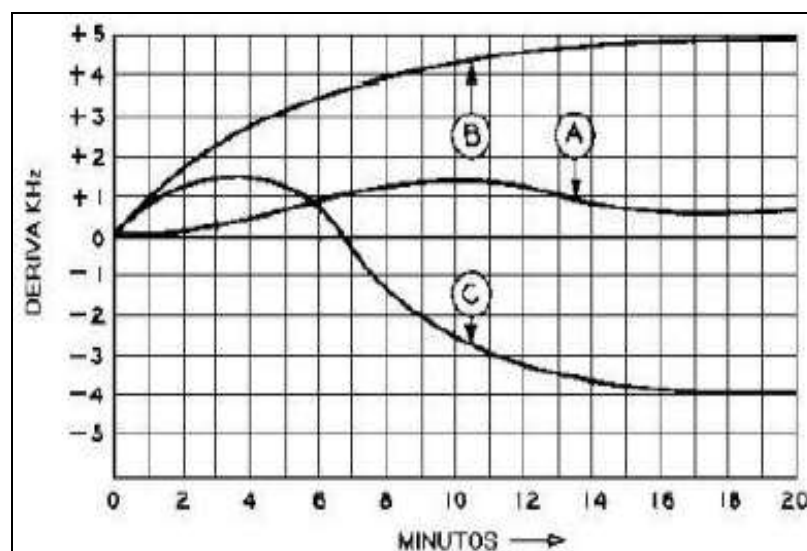
### **3.4.7 ESTABILIDAD**

La capacidad de un receptor para mantenerse sintonizado en una frecuencia seleccionada es una medida de la estabilidad del receptor. Los cambios ambientales tales como las variaciones de temperatura, voltaje de alimentación, humedad y los

choques o vibraciones mecánicas tienden a alterar las características del receptor sobre un período de tiempo.

Muchos receptores, tienen en un mayor o menor grado una variación constante de frecuencia conocida como deslizamiento por calentamiento (warm-up drift) que ocurre en los primeros minutos de operación. Una vez que los componentes del receptor han alcanzado la temperatura de operación, el deslizamiento se detiene o es mucho más lento.

El deslizamiento de frecuencias del receptor a corto plazo está representado en la figura 3-9.



**Figura 3-9. Curvas de estabilidad de frecuencia del receptor**

**NOTA:** En (A) la compensación de temperatura reduce el deslizamiento por calentamiento, (B) la falta de compensación genera un deslizamiento continuo a largo plazo, (C) compensación de frecuencia mediante condensadores especiales con características controladas de temperatura y estabilizando la temperatura del oscilador.

## CAPITULO 4

### DISEÑO RADIOENLACE FIJO Y MOVIL ENTRE UCSG Y LIMONCITO

#### 4.1 PARÁMETROS INICIALES PARA EL CÁLCULO

Este es un enlace punto a punto comprendido entre la Universidad Católica, desde la Facultad Técnica y el Cerro Azul, donde se ubicará un equipo repetidor, esto es el radio transceptor y su duplexor respectivo. El otro tramo es decir desde cerro azul hasta Limoncito lo hará el software Radio Mobile.

A continuación se detalla la posición geográfica de las antenas de transmisión y recepción ubicada en estos dos puntos.

##### 4.1.1 ANTENA DE TRANSMISIÓN

Con la ayuda de un GPS (Sistema de Posicionador Global) se toma las coordenadas de latitud y longitud del lugar donde se realizará el enlace.

Ubicación: Universidad Católica Santiago de Guayaquil

Facultad Técnica para el Desarrollo

Posición Geográfica: Latitud 2° 10.98'

Longitud 79° 54.18'

Elevación sobre el nivel del mar: 40 metros

Elevación torre de antena: 3 metros

Altura total del punto de transmisión: 43 metros.

Nota: Por aspectos netamente técnicos de propagación se escogió la torre de arquitectura, para colocar la antena de transmisión hacia el repetidor Cerro Azul. En el capítulo siguiente se comprueba con los cálculos y con pruebas con software

Radio Mobile.

#### 4.1.2 ANTENA DE REPETIDOR CERRO AZUL

Ubicación: Sector Cerro Azul, nivel 3 (antena de Porta)

Posición Geográfica: Latitud 2° 9.09'

Longitud 79° 56.02'

Elevación sobre el nivel del mar: 276 metros

Elevación torre de Antena: 25 metros

Altura total del punto de recepción: 36 metros

#### 4.1.3 DISTANCIA

La distancia total entre estos los puntos de transmisión y recepción es de **5.200** metros. Se representa en la figura 4-1 como debe estar el sistema con repetidoras, es decir como deben estar alineadas las antenas en el radioenlace.

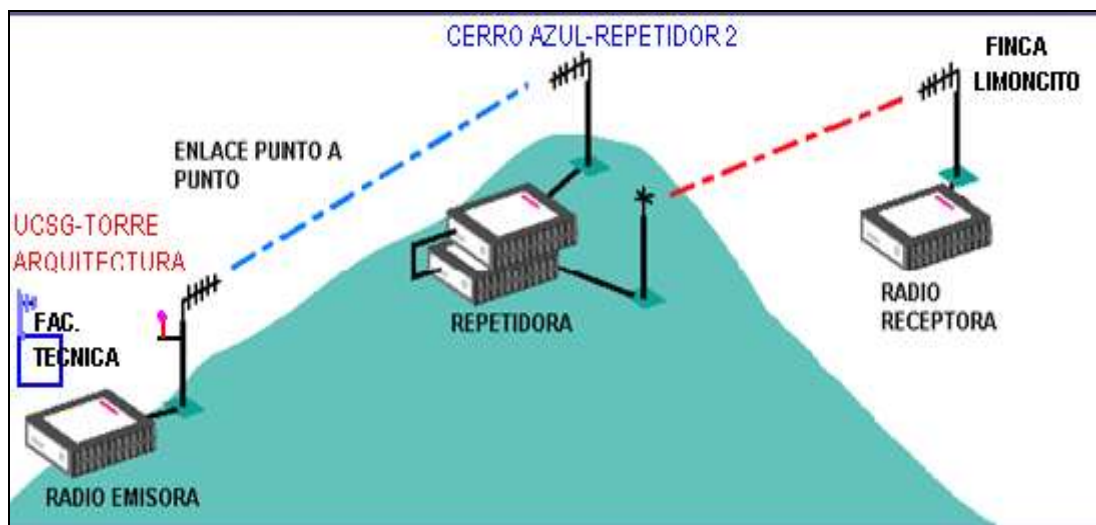


Figura 4-1 Radioenlace de voz entre la UCSG y Limoncito

#### 4.1.4 FRECUENCIA

La Frecuencia a utilizar es de 512 MHz encasillada en el cuadro de Atribución del Espectro Radioeléctrico dado por la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones en:

|                    |             |              |                          |
|--------------------|-------------|--------------|--------------------------|
| <b>AFICIONADOS</b> | <b>FIJO</b> | <b>MÓVIL</b> | <b>RADIOLOCALIZACIÓN</b> |
|--------------------|-------------|--------------|--------------------------|

#### 4.2 MATERIALES

Los materiales más importantes lo tenemos en la tabla 4-1

| CANTIDAD | DESCRIPCION | MARCA    | MODELO     |
|----------|-------------|----------|------------|
| TRES     | ANTENAS     | BAS-450  | YAGI-20dBi |
| OCHO     | CONECTORES  | ANPHENOL | PL-259     |
| CUATRO   | CONECTORES  | Mini UHF | N - MALE   |
| 200M     | CABLE       | BELDEN   | RG - 8 U   |

**Tabla 4-1 Materiales del Radioenlace de voz a 512 MHz**

#### 4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA (PIRE)

Potencia de salida del Transmisor: 8W igual a 39 dB

Ganancia de Antena: 10 dBi

Longitud del cable: 50 metros, pérdida 3.54 dB

Pérdida por conectores tipo N macho: 0.1 dB \* 2 igual a 0.2 dB

PIRE = Potencia de salida – Pérdidas por conector – Pérdida por longitud del cable  
+ Ganancia de antena

PIRE = 39 dB – 0.2 dB – 3.54 dB + 7 dB

$$\text{PIRE} = 42.29 \text{ dB}$$

Cálculo de la Atenuación en el espacio libre

$$\text{Atenuación} = 36.6 + 20 \log \text{ frecuencia en MHz} + 20 \log \text{ distancia en millas}$$

$$\text{Atenuación} = 36.6 + 20 \log 222 \text{ MHz} + 20 \log 3 \text{ millas}$$

$$\text{Atenuación} = 36.6 \text{ dB} + 46.9 \text{ dB} + 9.54 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación} = 93 \text{ dB}$$

#### 4.4 NIVEL DE RECEPCIÓN

$$\text{Ganancia de Antena de recepción:} \quad 10 \text{ dB}$$

$$\text{Longitud del cable:} \quad 10 \text{ metros, pérdida } 0.88 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdidas por conectores tipo N macho:} \quad 0.1 \text{ dB} * 2 = 0.2 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \text{Rx} = & \text{PIRE} - \text{Atenuación en el espacio libre} + \text{Ganancia de Antena de Recepción} - \\ & \text{Pérdidas por conectores} - \text{Pérdida por longitud del cable} \end{aligned}$$

$$\text{Rx} = 42.29 \text{ dB} - 93 \text{ dB} + 10 \text{ dB} - 0.2 \text{ dB} - 0.88 \text{ dB}$$

$$\text{Rx} = -41.8 \text{ dB}$$

#### 4.5 MARGEN DE DESVANECIMIENTO

Se debe manejar aproximadamente 20 dB más por lluvias y otros factores:

$$\text{Sensitividad del receptor: } 0.5 \mu\text{V} \text{ equivalente a } -115 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación} = 93 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 113 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \text{Rx} = & \text{PIRE} - \text{Atenuación en el espacio libre} + \text{Ganancia de Antena de Recepción} - \\ & \text{Pérdidas por conectores} - \text{Pérdida por longitud del cable} \end{aligned}$$

$$\text{Rx} = 42.29 \text{ dB} - 113 \text{ dB} + 10 \text{ dB} - 0.2 \text{ dB} - 0.88 \text{ dB}$$

$$\text{Rx calculado} = -61.8 \text{ dB}$$

Margen de Desvanecimiento = Rx calculado – Sensitividad del receptor

Margen de Desvanecimiento =  $-61.8 \text{ dB} - (-115 \text{ dB}) = 54 \text{ dB}$

Basado en los resultados teóricos obtenidos tenemos que el enlace entre la Facultad Técnica y el Repetidor-2 esto se dará solo de radiocomunicación fija, los niveles de selectividad son para equipos robustos, es decir usando equipos de radio por encima de 10 vatios de potencia, no así con radio portátil y casi difícil con equipos móviles.

#### **4.6 ANÁLISIS DE LA ZONA DE SOMBRA EN LA UCSG**

El radioenlace no posee señal dentro de los predios de la UCSG, esto se debe a que, según el estudio de propagación y prueba en situ lo que puede haber es comunicación de forma fija, tenemos 3 puntos. Radio fija en Facultad Técnica, un Repetidor en cerro azul y finalmente radio fija Limoncito, no existe la comunicación móvil dentro de la UCSG y tampoco en el trayecto si es que se va en un vehículo.

Las razones el lugar donde se encuentra toda la UCSG es ubicada entre lomas y cerros formando una “olla” allí es muy difícil enlazarse con equipos de bajo nivel de potencia como lo son radio móviles.

Las radios móviles en vehículos están por el orden del 7W y las portátiles que están entre 3 y 5 W. en cambio las radio bases fijas tiene potencia de transmisión de 30W sin contar que tienen antenas en torres y con alta ganancia en Tx-Rx.

En nuestro caso una forma de solución es poniendo una antena omnidireccional junto a la antena direccional del repetidor-1 es decir de una lado esta la antena yagi direccional enlazando a cerro azul o a la repetidora-2 y del otro lado esta una antena yagi para dar cobertura móvil muy eficiente a la UCSG, ver figura 4-2, de la zona con desvanecimiento de la señal RF.



**Figura 4-2 Zona de desvanecimiento para radioenlace de voz-móvil**

#### 4.6.1 ASPECTOS TÉCNICOS

Cuando se realiza el cálculo de un enlace, en verdad, lo que se calcula es la intensidad de campo a recibir por la radio receptora, el cual debe estar dentro de los límites de sensibilidad de esta. El campo recibido es dependiente de las siguientes características del sistema:

- Potencia entregada por el transmisor
- Las ganancias de las antenas que componen el sistema
- La distancia de separación que exista entre las antenas
- La frecuencia de trabajo del sistema

Una vez definido que para una radiocomunicación completa es decir fija y también



móvil es importante poner énfasis en colocar equipos y dispositivos adecuados en el repetidor de la torre de arquitectura, esto es con una antena omnidireccional y otra direccional apuntando a cerro Azul.

El análisis de propagación del tramo cerro Azul con Limoncito y la comprobación de los resultados teóricos del tramo UCSG- cerro Azul también se lo hará con el software mencionado. Radiomobile, permite realizar el cálculo del presupuesto de potencia, altura de antenas y otros aspectos más.

#### **4.7 EL SOFTWARE RADIO MOBILE**

Radio Mobile puede integrar mapas y base (background) así como datos GIS (Sistema de Información Geográfica). Radio Mobile usa modelos digitales de elevación de terreno (mapas digitales) para calcular automáticamente el perfil del trayecto entre el transmisor y el receptor.

El software usa el Modelo del Terreno Irregular (ITM por sus siglas en inglés) para propagación de radio. El modelo ITM de Longley-Rice (1968) es un modelo de propósito general basado en la teoría electromagnética y el análisis estadístico de las características del terreno.

Radio Mobile utiliza el modelo ITM, y debido a que el modelo es válido en un rango de 20MHz a 20GHz el software puede ser usado para predecir la atenuación de las señales de radio en sistemas WLAN Y WMAN.

##### **4.7.1 DISEÑO DEL ENLACE CON RADIO MOBILE**

Es fundamental, las coordenadas de latitud de longitud y altura o metros sobre el nivel del mar de los puntos que forman el radioenlace, con la ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Los datos fueron:

**FACULTAD TÉCNICA: PUNTO A**

Altura: 15 m.

Lat.: 02° 10' 43" S

Long: 79° 54' 07" W

**FACULTAD DE ARQUITECTURA: REPETIDOR-1**

Altura: 45 m.

Lat.: 02° 10' 51" S

Long.: 79° 54' 19" W

**CERRO AZUL: REPETIDOR-2**

Altura: 60 m.

Lat.: 2° 10' 46.79" S

Long.: 79° 52' 55.59" O

**HACIENDA-LIMONCITO: PUNTO B**

Altura: 25 m

Lat.: 02° 13' 11" S

Long: 80° 14' 37" W

En este programa se verificó, nuestra hipótesis, es decir no había LOS (Línea de Vista Directa) entre la torre de arquitectura y la finca Limoncito. Entonces se escogió por la ubicación próxima un cerro que de opción a repetir la señal hacia nuestro punto final.

Este intermedio será Cerro Azul y bien ya tenemos verificado que se utilizará en el radioenlace 2 repetidores. Con la ayuda del programa Google Earth se pudo realizar

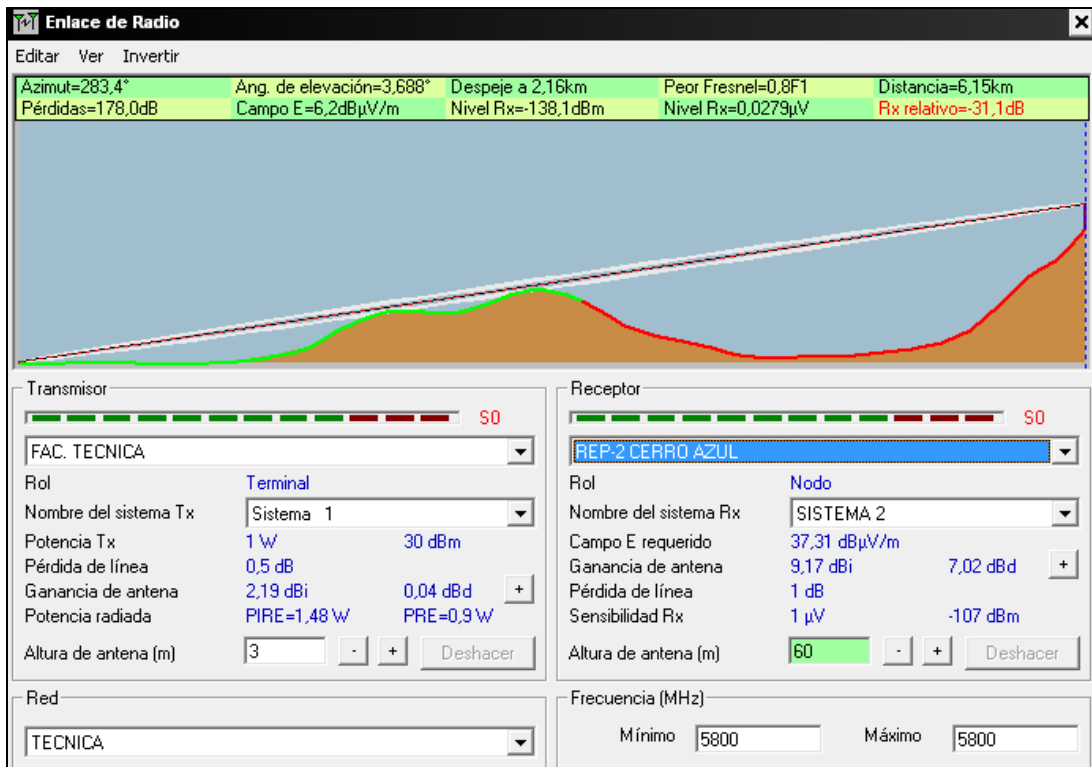
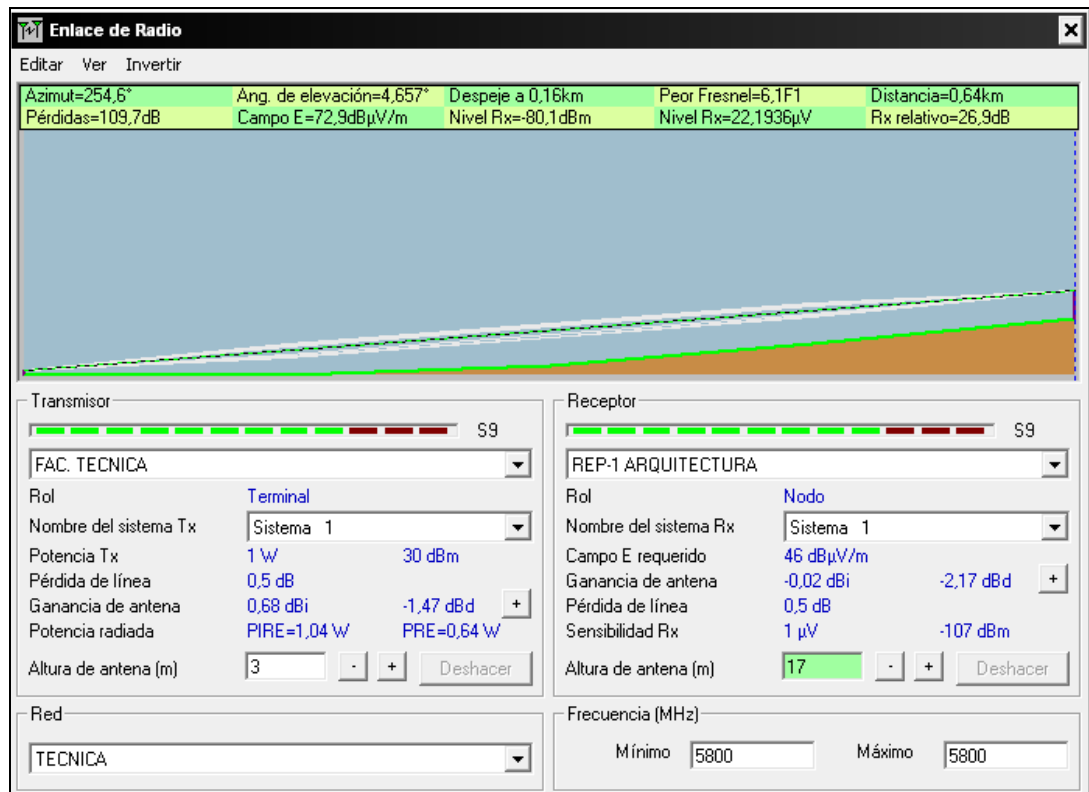
un mapa topográfico casi exacto del radioenlace, se colocó las coordenadas respectivas y el software nos dio los mapas del radioenlace, ver figura 4-3.



**Figura 4-3 Mapa Topográfico del radioenlace completo**

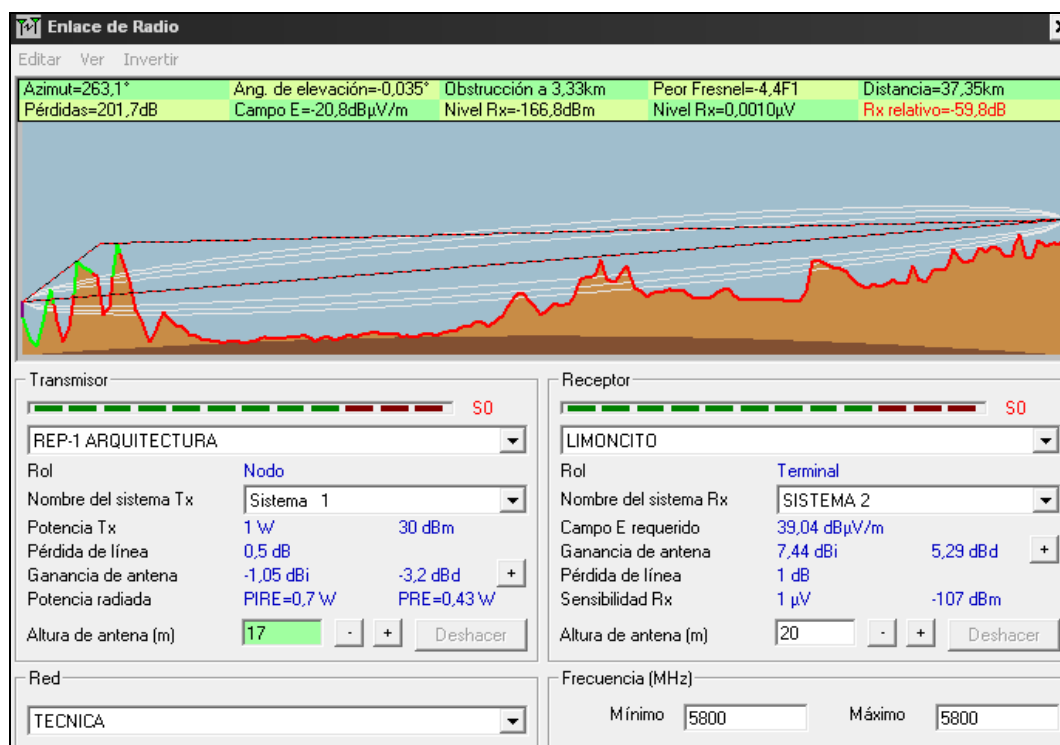
Una vez puesto los datos de coordenadas, la frecuencia de operación, los valores de antenas en dBi, se realiza con el programa el cálculo de propagación y con el se verifica si hay conectividad o línea de vista mediante los links, un link es un gráfico que muestra si hay línea de vista, nivel de campo, pérdidas, atenuaciones etc.

Si la líneas segmentada es verde se puede decir que hay conexión, si es rojo no habrá, si en un caso no llegara a existir conexión se puede poner el puntero del mouse en el punto crítico y luego nos vamos a la opción propiedades de las unidades para escoger ingresar Lat. o Long. (Latitud o Longitud). Ello es recomendable para saltar obstáculos o problemas en el link. Veamos los links del radioenlace por tramos.



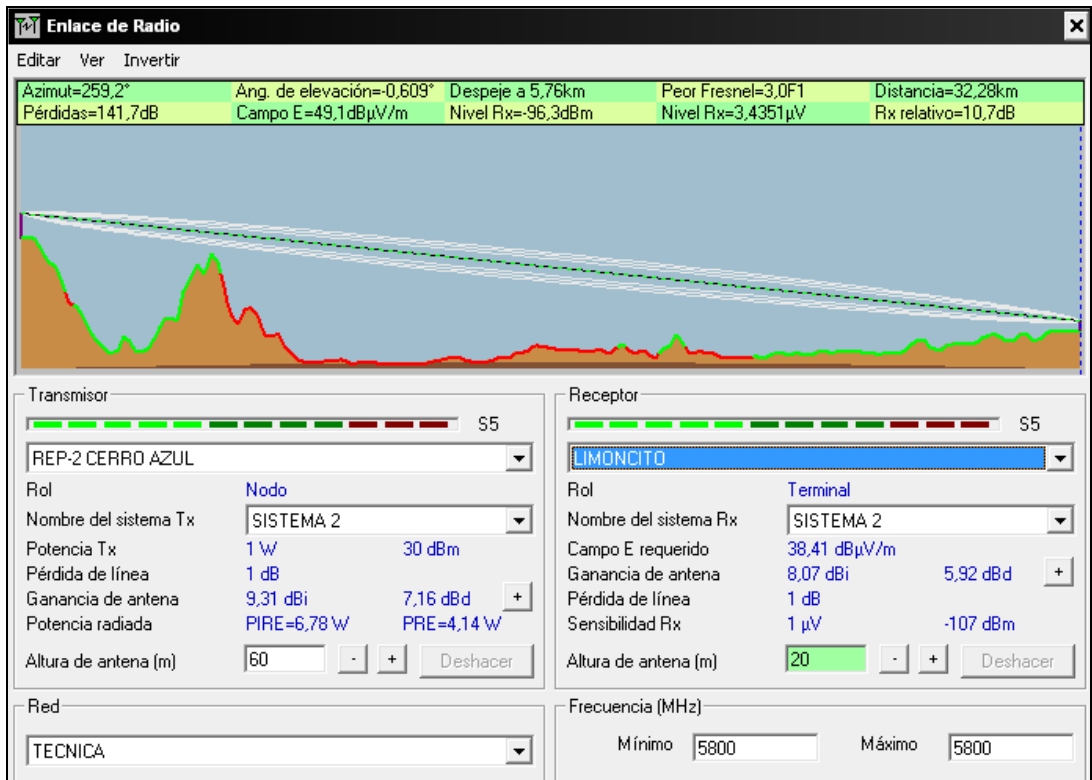
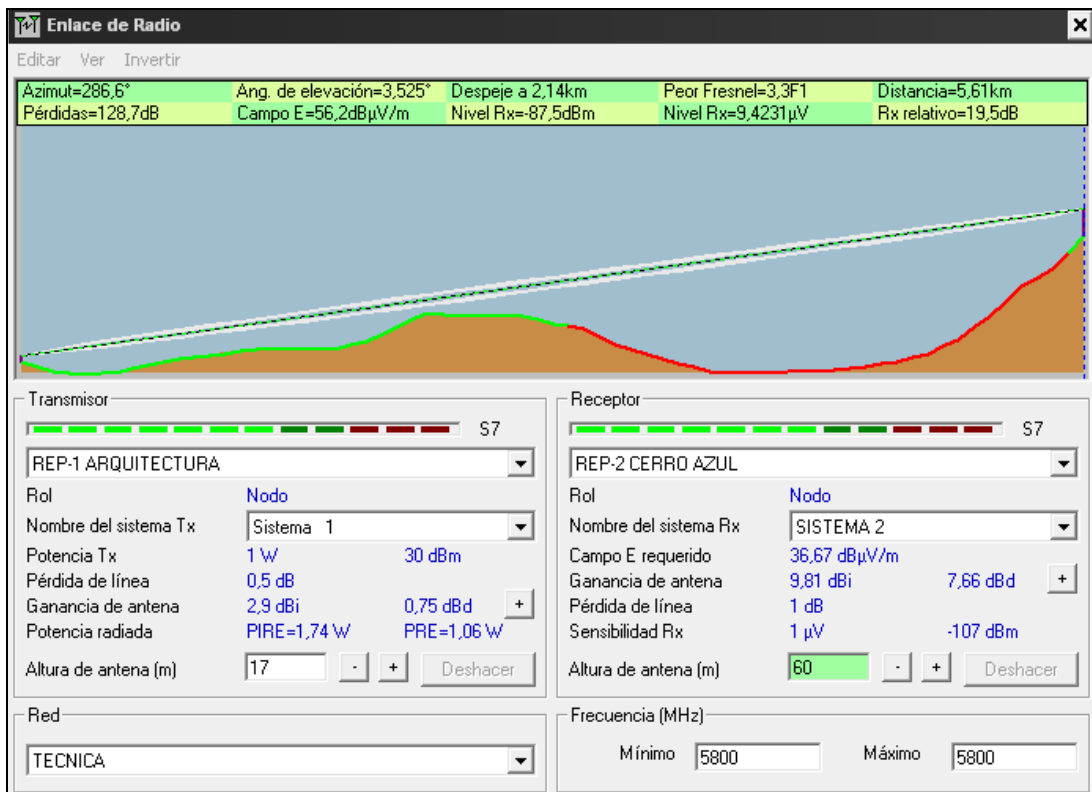
**Figura 4-4 Link o tramos de propagación entre terminales y repetidores**

Así mismo desde la torre de arquitectura o Rep-1 hacia limoncito se aprecia que es nulo el enlace, como más difícil salió el enlace del modo móvil desde la Facultad. Técnica hacia Limoncito no hay línea de vista, no hay enlace, los obstáculos son demasiados grandes para salvarlos o sortearlos, ver figura 4-5.



**Figura 4-5 Enlace nulo entre UCSG y Limoncito**

Pues bien con los datos obtenidos en el mismo programa, este nos recomienda la altura de las antenas en cada repetidora, así como el nivel de umbral y selectividad en la información a transmitir, entonces, basado en nuestro criterio técnico, se seleccionará los equipos y dispositivos para implementar el sistema fijo y móvil de radiocomunicación en la banda de 512 MHz. Los links óptimos se muestran en la figura 4-6.



**Figura 4-6 Links óptimos para radioenlace entre la UCSG y Limoncito**

## CAPITULO 5

### SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA RADIOENLACE FIJO Y MOVIL ENTRE UCSG Y LIMONCITO

#### 5.1 EQUIPOS Y DISPOSITIVOS A UTILIZAR

En este capitulo se detalla los equipos y dispositivos utilizados en el radioenlace fijo y móvil de voz entre la UCSG y la finca Limoncito.

#### 5.2 EL RADIO TRANSEPTOR

El radio transceptor o para nuestra implementación lo llamaremos radio de dos vías, es un equipo de comunicación inalámbrico cuya principal función es comunicar personas que están en movimiento (radio portátil), o bien si en el punto se posee una radio fija será solo comunicación estática.

Estas comunicaciones o radio enlaces pueden ser individuales o grupales. En la figura 5-1 se observa un radio de 2 vías con sus periféricos o partes principales.



**Figura 5.1** Equipo radio y sus periféricos

Estos equipos constan de seis partes principales: micrófono, transmisor, antena,

receptor, parlante, fuente de poder. Estos componentes funcionan en conjunto para permitir la transmisión y recepción de mensajes de voz (señales de audio) a través de ondas electromagnéticas.

La radio de dos vías buscan disminuir los costos de llamadas o comunicación de la UCSG-Facultad Técnica entre un sector estratégico como es la finca limoncito, pues allí se realiza actividades académicas de la carrera Agropecuaria así como también se realizan investigaciones y proyectos semillas y avanzados de parte de investigadores y/o profesores, por lo cual es necesario comunicarse o monitorear sus actividades respectivas.

### **5.2.1 LA ESTACION BASE**

Esta ubicada en una fija, es decir no se deberá mover del lugar asignado, el lugar donde esta una estación base se le denomina central en muchos casos, y puede tener un radio operador permanente o temporal, se alimenta con una fuente de poder de 12 Vdc. La figura 5-2 muestra una radio base, en la implementación esta se encuentra en la finca Limoncito en la casa del guardián, esta pose una salida de potencia de 10 dB.



**Figura 5-2 Radio base**



### **5.2.2 LA RADIO PORTÁTIL**

Es una radio pequeña, suficientemente pequeña y liviana como para ser llevada por una persona durante su trabajo, se alimenta de una batería y su potencia de transmisión esta en el orden de los 3 y 5 dB. En la implementación se deja 4 radios portátiles para el uso de investigadores, la autoridad y el chofer de los buses.



**Figura 5-3 Radio portátil**

### **5.2.3 RADIO MÓVILES**

Estas radios se instalan en los vehículos y con ella se mantiene comunicación móvil entre el radioenlace, en la implementación del radioenlace de voz, no existe una radio móvil.



**Figura 5-4 Radio Móvil**

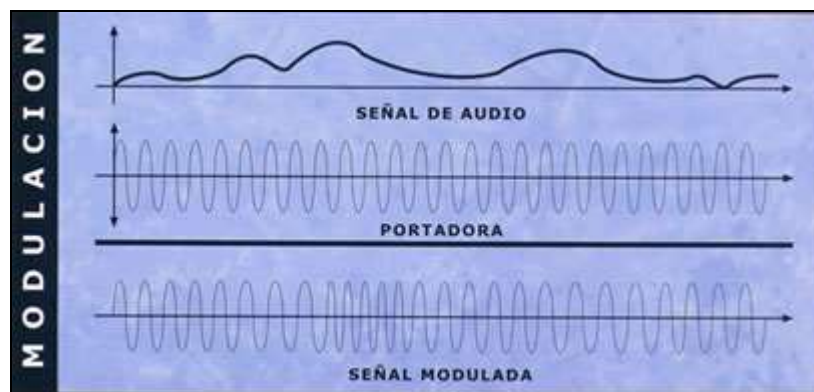
### 5.3 FUNCIONAMIENTO DE LA RADIOCOMUNICACIÓN

Se recuerda que cuando habla una persona, se esta transmitiendo el mensaje, el micrófono convierte la voz en una señal eléctrica equivalente. Sin embargo esta señal es muy débil y por encontrarse en el rango de audio, su frecuencia es muy baja para ser enviada muy lejos.

El transmisor procesa y amplifica la señal de audio en una señal de radio y la envía a la antena que es la encargada de emitir la señal de radio al aire.

El proceso mediante el cual el transmisor convierte la señal de audio en la señal de radio se denomina modulación. Mediante la modulación se combina la señal de audio de micrófono con una señal de alta frecuencia que se denomina frecuencia portadora.

Ver figura 5-5 como se modula una señal de audio con una portadora.



**Figura 5-5 Modulación de audio mas portadora**

Para recibir mensajes se lleva a cabo el mismo proceso de manera inversa: la antena recoge la señal de radio y la envía al receptor en donde se separan la señal de audio inicial y la frecuencia portadora. Finalmente la señal de audio se envía al parlante permitiendo que el mensaje de voz original pueda ser escuchado.

## 5.4 RANGO Y ÁREA DE COBERTURA

Muchas ondas pueden ser captadas por la misma antena y por ello el receptor filtra o selecciona una banda angosta de frecuencias programadas de acuerdo con la frecuencia que ha sido transmitida previamente. Dentro de la parte del espectro que nos interesa por la implementación del radioenlace, es la parte del espectro que contiene las bandas de frecuencia usadas en radiocomunicaciones, es decir entre 30 KHz y 3000 MHz. Las bandas utilizadas por los equipos de la radioenlace Motorola y Kenwood son High frecuencies (HF), Very High Frecuencias (VHF) y Ultra High Frecuencias (UHF).

La selección de la banda de frecuencia es uno de los factores determinantes del rango y cobertura del sistema de comunicación. Para poder realizar esta elección se deben tener en cuenta las características y limitaciones de cada una de las posibilidades existentes. Se puede ver la tabla 5-1 donde especifica factores y rango tanto para VHF y UHF.

| Factores/Rango  | VHF                       |                            | UHF                      |                          |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                 | Banda Baja<br>25 - 50 MHz | Banda Alta<br>150 - 174MHz | 450 - 512MHz             | 800 - 900 MHz            |
| Interferencia   | Severa                    | Mínima                     | Ninguna                  | Ninguna                  |
| Antenas         | Larga - Baja<br>Ganancia  | Corta - Alta<br>Ganancia   | Corta - Alta<br>Ganancia | Corta - Alta<br>Ganancia |
| Rango Rural     | Excelente                 | Bueno                      | Regular                  | Regular                  |
| Rango Suburbano | Bueno                     | Excelente                  | Bueno                    | Regular                  |
| Rango Urbano    | Malo                      | Bueno                      | Excelente                | Excelente                |

**Tabla 5-1 Factores y Rango en VHF y UHF**

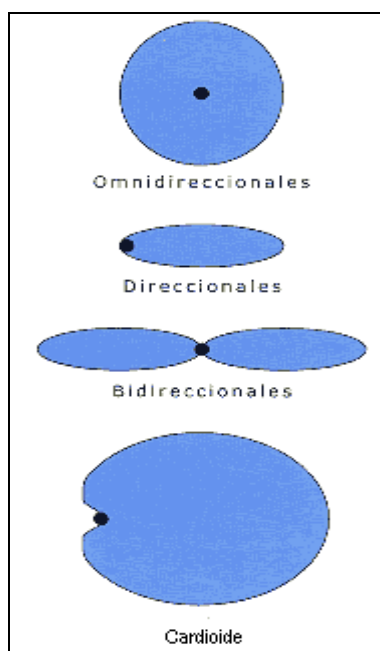
Así por ejemplo si un usuario está localizado en una comunidad de no más de 200 mil habitantes y desea la cobertura de la ciudad y el área adyacente, su mejor elección será operar en VHF. Si por el contrario el usuario desea comunicarse en un

área de una ciudad mucho más grande, en este caso es Guayaquil, lo más recomendable es el uso de UHF.



**Figura 5-6 El Rango**

Otro factor que influyente en el rango y la cobertura del sistema es la antena que se utilice, las antenas irradian energía en todas las direcciones: a mayor distancia de la antena menor energía recibida. El rango del sistema es la distancia desde la antena hasta el punto más lejano en donde se tenga una buena señal. Ver figura 5-7.



**Figura 5-7 Irradiación de las antenas**

La altura de la antena, las características del terreno que la rodea y el ruido causado por la cercanía de generadores de energía eléctrica, motores eléctricos en

movimiento, luces de neón, ente otros determinan los limites del rango. Las antenas pueden cubrir áreas no necesariamente circulares con antenas direccionales, bidireccionales y cardioides y extender la distancia de cubrimiento con antenas de ganancia.

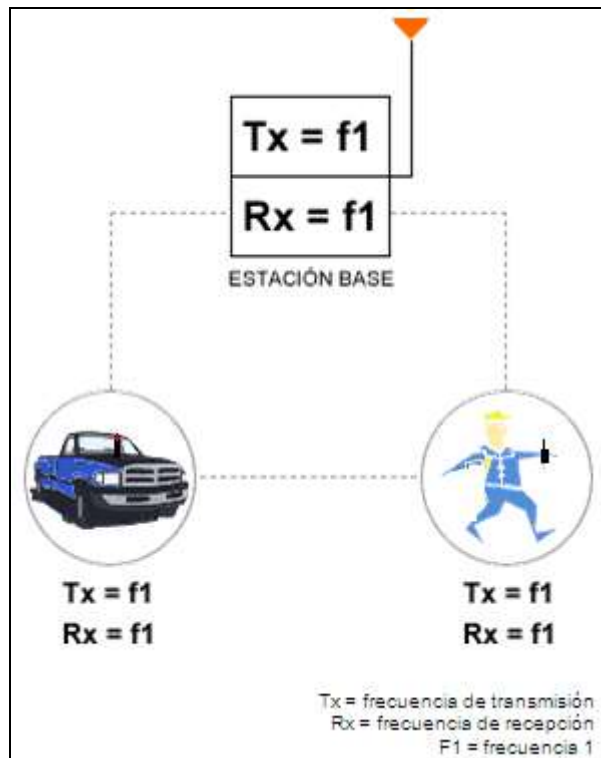
La potencia es otra característica de los radios que es proporcional al alcance que estos tienen. La potencia de los radios, al igual que la de los bombillos, se mide en vatios (Watts) a mayor potencia mayor rango. En los radios se calcula que 1 W logra una cobertura aproximada de 1 Km sin embargo hay que tener en cuenta todos los factores mencionados anteriormente para poder estimar el rango exacto (tipo de antena, ubicación, características del terreno que rodea el radio).

### **5.5 SISTEMA UNIDAD A UNIDAD DE RADIO**

En este sistema todos los usuarios pueden comunicarse directamente unos con otros sin la intervención de un radio operador central. En este sistema cada uno de los usuarios puede escuchar todos los mensajes.

Aquí se utiliza un sistema de comunicación denominado “simplex” que consiste en una o más unidades de radio operando en la misma frecuencia: En un sistema “simplex” no se puede escuchar y hablar simultáneamente y además solo un radio puede transmitir a la vez.

Un sistema de comunicaciones grande puede usar diferentes frecuencias “Simplex” para cubrir diferente áreas. Ver figura 5-8

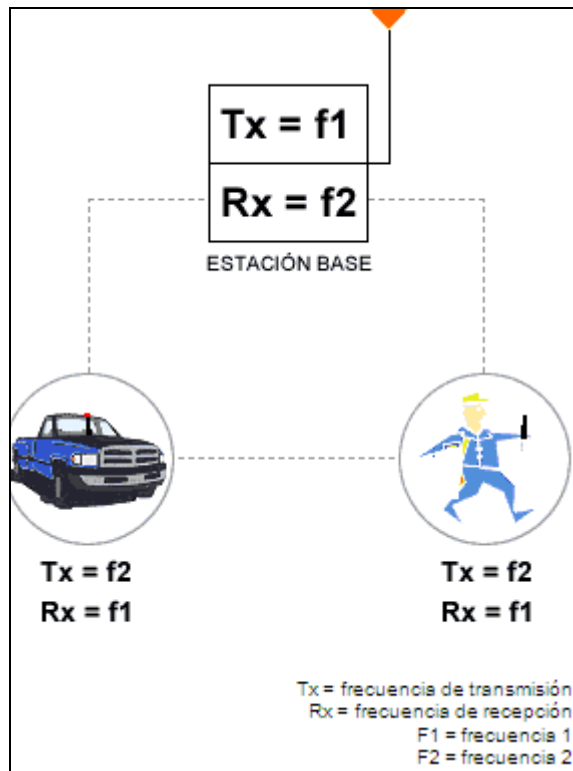


**Figura 5-8 Radio unidad a unidad**

## 5.6 SISTEMA DE DESPACHO

En este sistema hay comunicación directa entre cada uno de los usuarios y el despachador central (radio operador), pero no entre usuarios. El radio operador es el único que puede escuchar todos los mensajes que viajan a través del sistema: Aquí se utiliza un sistema “simplex” de dos frecuencias, en donde la estación base transmite en la frecuencia 1 y los equipos móviles o portátiles que completan el sistema reciben también en esta frecuencia.

De la misma manera la estación central recibe en la frecuencia 2 y los demás equipos transmiten en la frecuencia 2. Ver figura 5-9

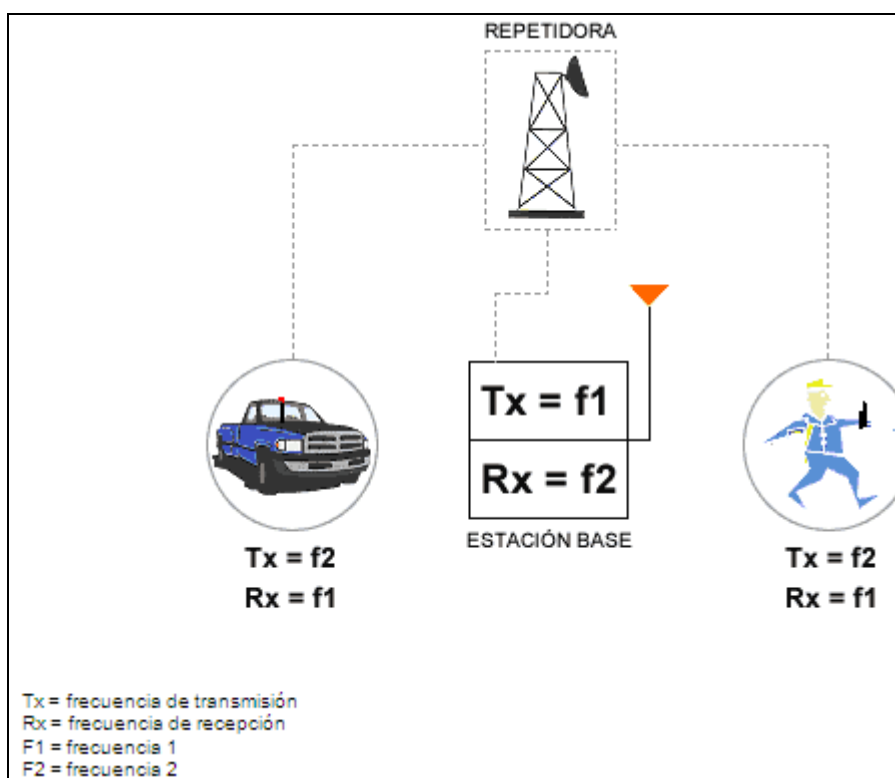


**Figura 5-9 Radio Operador Central**

### **5-7 REPETIDORA**

Una repetidora de radio es un tipo especial de estación base localizada a cierta distancia de la base de operaciones del sistema. También consiste de un transmisor y un receptor pero varía su manera de operación. Cuando la repetidora recibe una señal del equipo base, o de cualquier otro radio del sistema inmediatamente la retransmite. La operación de la repetidora se denomina “Dúplex”, ya que puede recibir y transmitir simultáneamente, sin embargo el usuario de radio no puede hacer las dos funciones al mismo tiempo. Si una repetidora se ubica debidamente en un edificio alto, en una torre o en la cima de una montaña el rango de comunicaciones del sistema se aumentará. Además una repetidora puede transmitir una señal de radio

hasta donde un sistema simplex de radio no tiene acceso. Estas repetidoras pueden ser propias o comunitarias permiten que un numero determinado de usuarios de diferentes sistemas compartan un sistema de repetidora teniendo que pagar simplemente una mensualidad sin tener que invertir en la compra del sistema completo. Ver figura 5-10 enlace de radiocomunicación con repetidora.



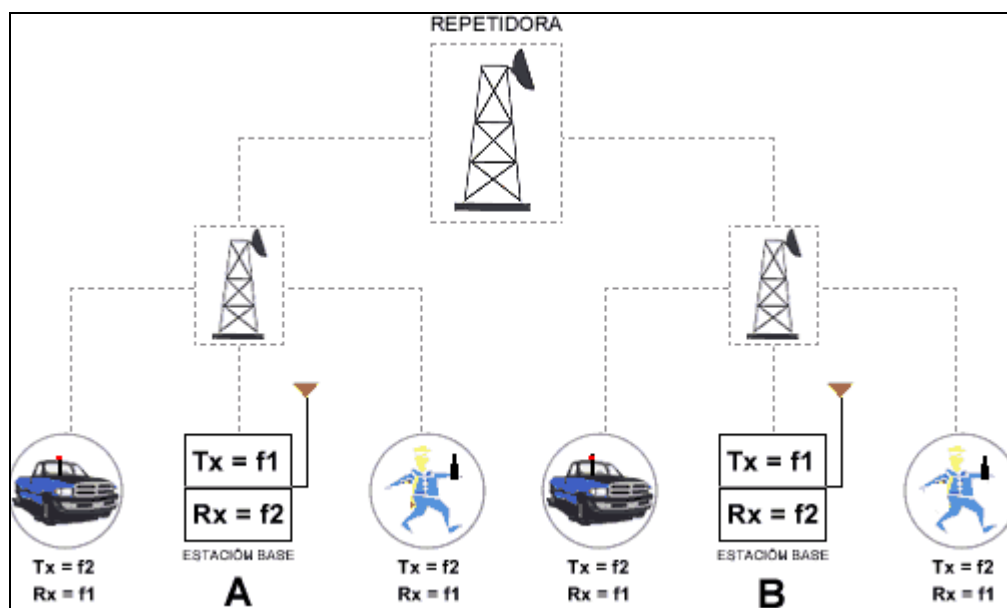
**Figura 5-10 Radiocomunicación con repetidora**

## 5.8 ÁREA EXTENDIDA

Este sistema enlaza una o más repetidoras, permitiendo de esta manera que usuarios de sistemas alejados puedan entablar comunicaciones sin necesidad de que se encuentren dentro del área de cobertura de las repetidoras de las que son usuarios. Ver la figura 5-11 se muestra que un sistema A puede comunicarse con cualquier



unidad del sistema B y viceversa, en el caso de la implementación se hace un radioenlace entre la UCSG y la finca Limoncito teniendo comunicación tanto fija como móvil. En otras palabras es para comunicar puntos o ciudades alejados y separados por una montaña.

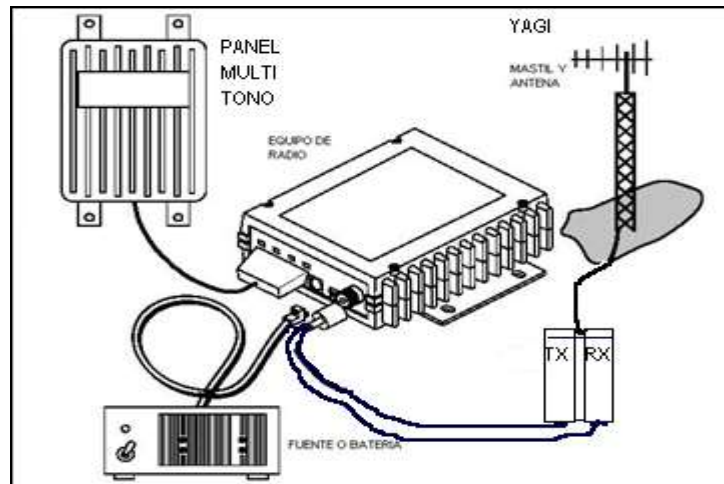


**Figura 5-11 Sistema área extendida o radioenlaces**

### 5.9 REPETIDORES DEL RADIOENLACE UCSG-LIMONCITO

Se necesito ubicar un repetidor en la torre de arquitectura y otro en cerro azul, el repetidor denominado1, esta formado por los siguientes componentes; Radio Transceptor, 1 Duplexor de 2 cavidades, 1 panel multitonos, 1 batería en caso de suspensión de energía eléctrica.

El repetidor 1 están en el cuarto de equipos que esta junto a la torre de Arquitectura (UCSG), tiene 1 duplexor de 2 cavidades o filtros. Ver figura 5-12.



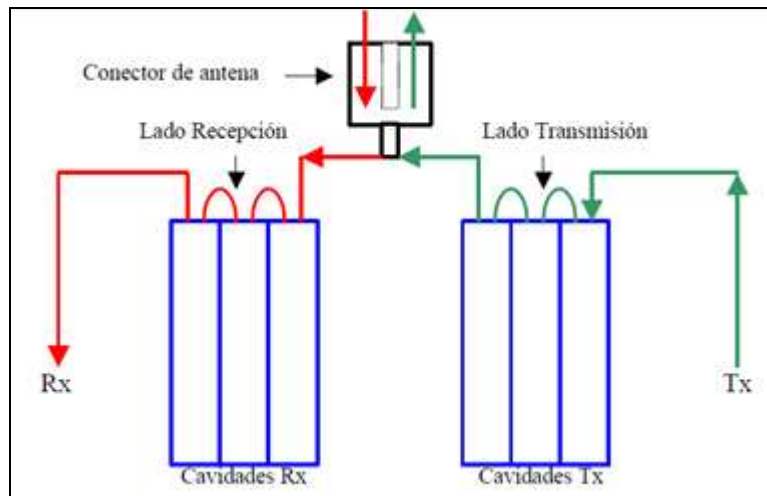
**Figura 5-12 Componentes de la Repetidora 1- Torre Arquitectura**

En cerro Azul el repetidor 2 posee un equipo modular radio marca Motorola y su duplexor es de 4 cavidades, a mayor cantidad de filtro hay mayor selectividad y claro su precio es más costoso.

### 5.9.1 EL DUPLEXOR

Las cavidades resonantes de transmisión y recepción constituyen filtros de alto Q, donde la cavidad receptora debe atenuar la componente de transmisión y la cavidad de transmisora debe atenuar la componente de recepción, esto es para que ingrese al receptor ninguna componente en la frecuencia del transmisor que provocará una pérdida de sensibilidad en el receptor por funcionamiento dúplex.

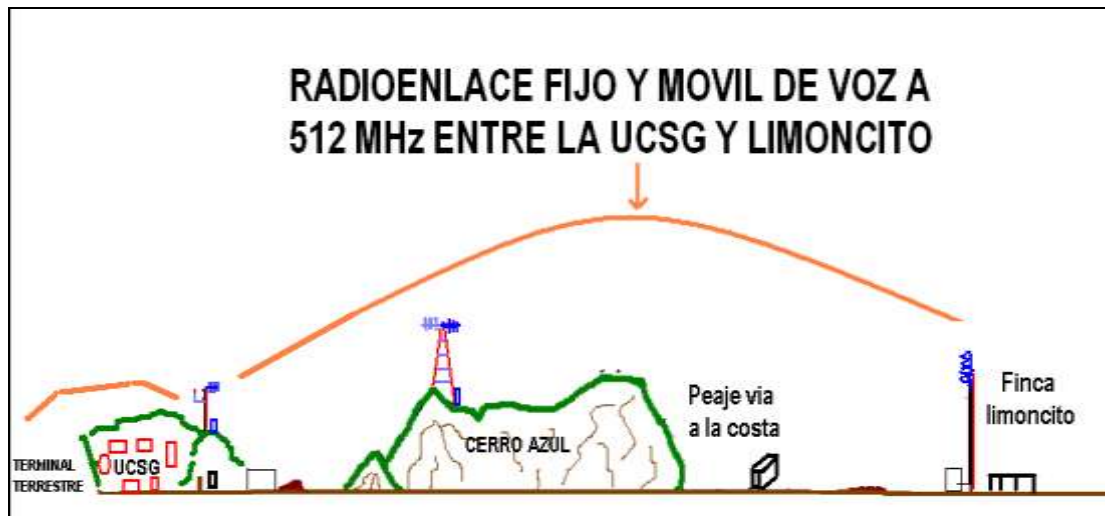
En algunos duplexores las cavidades constituyen filtros pasabanda, sintonizados a la frecuencia de recepción y frecuencia de transmisión respectivamente, en otro las cavidades constituyen una un filtro “pasa bajo” y la otra un filtro pasa alto, por ejemplo cuando la frecuencia de recepción está por debajo de la de transmisión de la cavidad “pasa bajo” será la receptora y la cavidad pasa alto será la transmisora.



**Figura 5-13 Duplexor 4 cavidades del Repetidor 2- Cerro Azul**

El duplexor deberá presentar una adaptación de impedancia de manera que el receptor y el receptor y el transmisor vean en sus terminales de antena 50 ohms que es la impedancia que presenta la antena. En la figura 5-13 se ve un duplexor de 4 filtros o cavidades 2 filtros son para Tx y dos filtros para Rx. Este equipo se conecta al equipo Radio Motorola de estado solido su ubicación es en el cerro azul, en la torre de la empresa Porta, en el cuarto de equipos respectivo están conectados los equipos, las antenas son 2 yagis la una hace enlace con la UCSG y la otra antena hace el enlace con Limoncito.

En la figura 5-14 se muestra el radioenlace completo, vale decir que no solo existe comunicación dentro de los predios de la UCSG sino también en la parte norte, específicamente desde el Terminal Terrestre de Guayaquil, y así hay radiocomunicación móvil en la carretera vía a la Costa, hasta la finca Limoncito todo el trayecto tiene señal nítida.



**Figura 5-14 Radioenlace Fijo y móvil de Voz entre la UCSG y Limoncito**

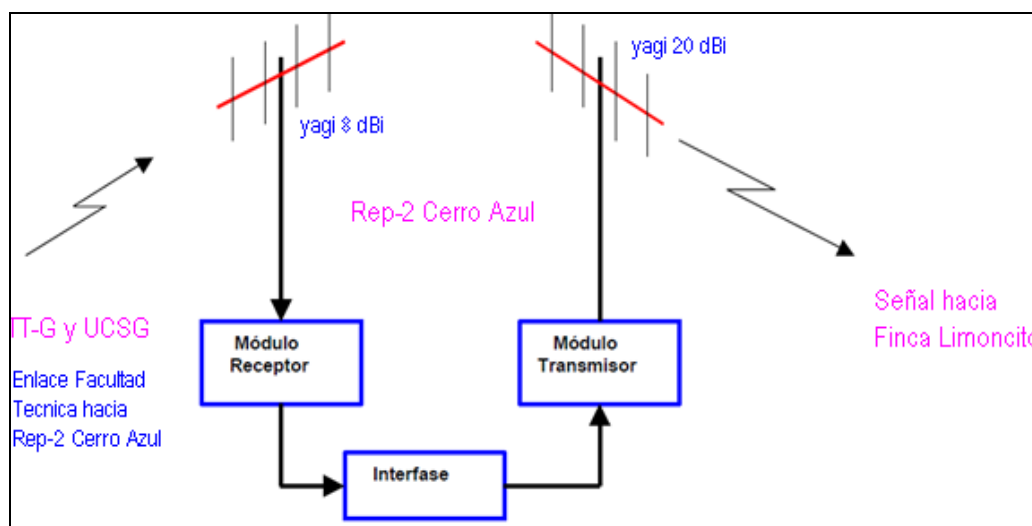
### **5.9.2 ACTIVACIÓN DE TRANSMISIÓN**

Al receptor del repetidor ingresan gran cantidad de señales y alguna puede coincidir su frecuencia con la de recepción, por esto para evitar una activación del transmisor indebida, es conveniente identificar la señal deseada mediante alguna señalización. En la actualidad los equipos disponen de distintos tipos de señalización, algunos de estos son:

- Señalización con subtonos
- Señalización digital
- Señalización con DTMF

El receptor según las prestaciones se programa para identificar la señalización deseada y cuando esto ocurre recién la interface activa el transmisor. Como el código utilizado representa una clave de acceso, se evita o dificulta el uso del repetidor por terceros no autorizados.

En este caso el equipo repetidor es similar al anterior, cambiando solamente el sistema irradiante, se utilizan en este caso dos cables coaxiales y dos antenas direccionales orientadas convenientemente, esto se puede ver en la figura 5-15.



**Figura 5-15 Modo Transmisión del Rep. 2 en enlace entre UCSG y Limoncito**

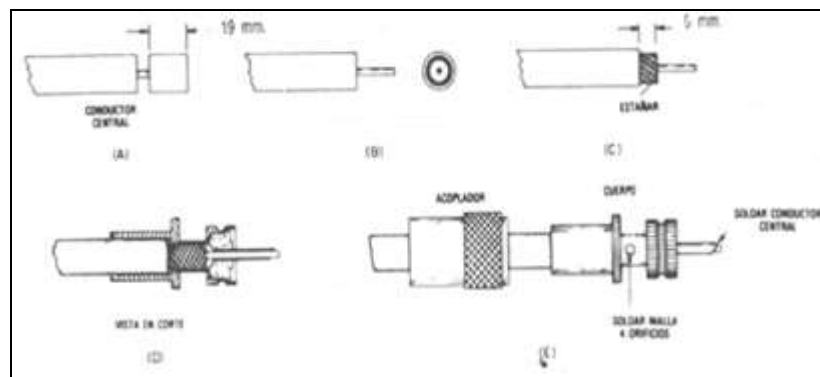
## 5.10 CONECTORES A UTILIZAR

Los cables coaxiales que utilizamos para conectar los radios y duplexores, paneles de tonos y otros dispositivos fue el cable RG-8. Existen una amplia variedad de conectores de RF para cables coaxiales. Pero los tres tipos más comunes empleados por los radioaficionados, son las familias de conectores UHF, BNC y N.

El conector tipo UHF, es el más popular y el utilizado en la mayoría de los transceptores de HF y de VHF, no recomendando su empleo en frecuencias superiores a los 220 MHz. y tensiones de más de 500 voltios de pico. Pero no es para la implementación, la frecuencia de operación es 512 MHz.

Para nuestro radioenlace se utilizó, el conector macho, también se le conoce por PL-259 y el conector hembra SO-239.

Los PL-259 están diseñados para ser empleados en cables coaxiales de los tipos RG-8, RG-11 y similares, cuyo diámetro exterior sea aproximadamente de 10 mm.



**Figura 5-16 Conector PL259**

### 5.10.1 CONECTOR MINI UHF

En la década de 1970, Mini-UHF es una versión en miniatura de los conectores UHF que se inventaron en la década de 1930 para su uso en la industria de la radio.-UHF conectores especialmente diseñados para su uso como la interconexión coaxial en teléfonos celulares, sistemas de automoción y aplicaciones similares donde el tamaño, peso y factores de costo son críticos.

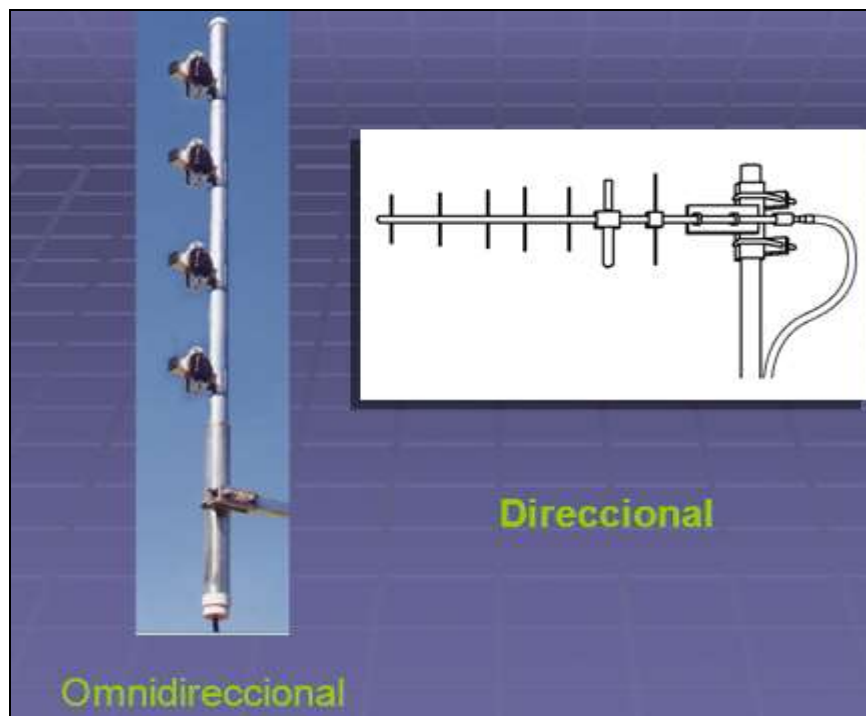
Los terminales o conectores Mini-UHF, conectan los cables coaxiales RG-58, RG-58A, RG-58B, RG-58C, y los cables coaxiales de la marca Belden 9258. Este tipo de cable conecta-poncha el terminal mini-UHF y la toma conectará, los paneles y placas de circuitos.



**Figura 5-17 Conector mini-UHF**

### **5.11 ANTENAS UTILIZADAS EN RADIOENLACE UCSG-LIMONCITO**

Existen 2 antenas omnidireccionales de 4 dipolos, una en Torre de Arquitectura y otra en la finca Limoncito, así también existen 2 antenas direccionales yagi de 20 dBi estas están en el tramo cerro azul-limoncito, ver figura las antenas utilizadas en la implementación.



**Figura 5-18 Antenas utilizadas en radioenlace UCSG-Limoncito**

## **CAPITULO 6**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CUARTO DE TELECOMUNICACIONES PARA LA FINCA LIMONCITO**

#### **6.1 CRITERIO DEL DISEÑO**

Por las últimas implementaciones tecnológicas, tales como cámaras de video vigilancia vía IP (protocolo de internet), internet banda ancha y ahora con el radioenlace entre la USCG y la finca es primordial tener un cuarto para equipos. Sus aspectos son:

- Lugar del cuarto a pocos metros de la antena
- Restricción a manejo de equipos por personas no autorizadas.
- Protecciones contra sobre voltajes a todos los equipos que están en el cuarto.
- Facilidad para mantenimiento preventivo y correctivo necesarios.



**Figura 6-1 Cuarto Equipos Limoncito**



Las dimensiones del cuarto son de 2,5 x 2,5 x 2,3 metros. Se construye con criterios de un arquitecto y un maestro albañil, los integrantes de la tesis colaboraron con la obra civil. El contra piso será resistente, se sabe que el suelo de Limoncito posee inclinaciones, se realizó una cimentación fuerte para evitar que se raje las paredes cuando se las levante, este criterio es por el eventual movimiento de tierra, temblores etc. Así también las columnas fueron cimentadas de acuerdo al criterio sismo-resistencia



**Figura 6-2 Contra piso resistente a prueba de temblores**

Se realizó la construcción de una loza de 10 cm., como se puede apreciar en las fotos este trabajo que en si es de obra civil, servirá para las aplicaciones de telecomunicaciones futuras, ya no se tendrá que poner los equipos o computadoras en

la casa del Sr. guardián de la finca, ver figura 6-3, 6-4 y 6-5, donde se construye loza para el cuarto de equipos.



**Figura 6-3 Construcción de loza para el cuarto de equipo**



**Figura 6-4 Loza fundida**



**Figura 6-5 Paredes dentro del cuarto de equipo**

## **6.2 FUNCIONES DE CUARTO DE EQUIPO EN LIMONCITO**

Como se menciona es proteger los equipos. Tener en un solo lugar los componentes de los sistemas de comunicación implementadas, así también dar la seguridad contra personas no autorizadas, alimentación respaldo de energía en caso de corte etc.



**Figura 6-6 Muestra en 80% la construcción**



**Figura 6-7 Iluminación y ventilación del cuarto**

### **6.3 TERMINACIÓN DEL CUARTO EQUIPOS EN LIMONCITO**

La obra civil se realizó según lo planificado, se enlució paredes y luego se procedió a pintar sus paredes por dentro y por fuera, en la obra se recomienda instalar un rack o gabinete para los equipos a instalarse y para aquellos que ya existen. El cuarto de equipos conecta a los enlaces de voz y datos desde la UCSG hasta la finca Limoncito.

En la figura siguiente se muestra la parte final de implementación, este cuarto tendrá los equipos que conecta a las antenas de los radioenlaces, la parabólica es la de dato o internet y la de 4 dipolos, es la antena de voz. La figura 6-8 muestra como queda la implementación. Con ello el objetivo principal de la tesis esta concluido.



**Figura 6-8 Cuarto de telecomunicaciones en Limoncito**



## CAPITULO 7

### PRUEBAS Y AJUSTES DEL SISTEMA FIJO MOVIL UCSG-LIMONCITO

#### 7.1 EQUIPOS PORTATILES DEL RADIOENLACE

Son 3 radios portátiles marca Kenwood, con sus respectivas baterías y cargadores de mesa. Son de origen americano y están operativos y con configuración de frecuencia que utiliza la UCSG, esta es 490 MHZ, se muestran los equipos en la foto 7-1



**Figura 7-1 Radios portátiles Kenwood**

Para la prueba se realizó, las siguientes modalidades de operación de los radios, estas son: PTT-ID, Llamadas en Alerta, Llamada selectiva, Verificación de radios entre otras.

## 7.2 MODALIDAD DE OPERACIÓN DE LOS RADIOS PORTÁTILES EN EL RADIOENLACE

Se tiene las siguientes modalidades:

### PPT-ID

Esta permite identificar qué persona está utilizando el sistema de radio. Dependiendo del radio ésta identificación puede ser un número de 2 dígitos (01, 12, 34...) o un mensaje alfa numérico (Jota-1, Central-2, etc.). PPT (Push To Talk), es la tecla que hay que tener presionado para hablar y cuando se lo hace el sistema radio operador o central sabe que radio es la que está operativa o se comunica.



Figura 7-1 Operación PTT-ID

### Verificación de Radio

Permite supervisar si las unidades de radio se encuentran encendidas o dentro del área de cobertura. Esta verificación se lleva a cabo sin que el usuario se dé cuenta.



### **Figura 7-2 Verificación de Radio**

La estación base sabe si el radio que se quiere verificar está encendido o apagado debido a que este responde automáticamente con un mensaje de reconocimiento.

### **Llamada Selectiva**

Con esta función se puede avisar mediante un tono audible a quién (es) va dirigido el mensaje. Solamente los radios seleccionados emitirán un tono que les indicará a sus usuarios que el mensaje de voz que sigue a continuación es de interés para ellos. Aunque todos los usuarios del sistema escuchen el mensaje de voz, sólo aquellos a los que se les quiere dirigir la llamada escucharán la alerta audible emitida por su radio.



**Figura 7-3 Llamada Selectiva**

### **Inhibición Selectiva**

Desde una consola de control se envía una señal que hace que un radio determinado no pueda recibir ni transmitir mensajes al sistema. Esta función es utilizada usualmente cuando un radio se pierde o es robado. El radio puede desbloquearse una vez se quiera que éste vuelva a entrar al sistema.





**Figura 7-4 Inhibición Selectiva**

De esta manera se concluye un trabajo de investigación e implementación con importantes objetivos, se diseñó un radioenlace fijo y móvil entre la UCSG y la finca Limoncito, así también se diseñó y se construyó un cuarto de telecomunicaciones.

## CONCLUSIONES

- ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN).
- Se utilizan en redes Wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, dentro del modelo OSI, es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos.
- ZigBee a pesar que tiene muchas ventajas en sus aplicaciones no es muy utilizada debido a que no está muy introducido al mercado actual aunque ya tiene muchos años de existir, también porque no tiene compatibilidad con tecnologías actuales como Bluetooth. Y la tecnología Bluetooth ganó mucho mercado al incorporarse en la telefonía móvil, determinados fabricante de celulares cuentan con dicha tecnología en sus aparatos, aun así se espera que los módulos ZigBee sean los transmisores inalámbricos más baratos de la historia y además fabricados en forma masiva.
- Los resultados por el uso de transceptores ZigBee son muy beneficiosos en países industrializados, ya existen versiones mejoradas de estos equipos y muy pronto se puede tener dispositivos para aplicaciones como tele medicina, monitoreo de pacientes, transmisión de análisis del paciente, todo esta que el

equipo que está conectado al paciente tenga incorporado la tecnología ZigBee. Así también en la industria, rastreo de equipos, control de procesos, manejo de energía etc.

- A nivel del hogar un solo aparato de control remoto, controlará el tv, puertas de garaje, aire acondicionado, luces etc. No se necesitará varios controles, los dispositivos domóticos de un hogar inteligente está controlado por un dispositivo ZigBee, a nivel de los países de la alianza ZigBee, han realizado las pruebas de operación con satisfacción.
- Los radios de dos vías buscan disminuir los costos asociados a las operaciones de comunicación, así como el de aumentar y potencializar comunicación tanto fijo como móvil.
- Un repetidor se instala en un sitio alto con el objeto de incrementar la cobertura.
- El repetidor recibe en una frecuencia y simultáneamente transmite en otra frecuencia. La programación de la frecuencia de transmisión de los radios dependientes del repetidor, debe corresponder a la frecuencia de recepción programada en el Repetidor y viceversa.
- La hipótesis de instalar 2 repetidora en el trayecto UCSG y la finca Limoncito resulto acertada, dio valiosa ayuda el manejo del software Radio Mobile.
- Los cuartos de telecomunicaciones sirven para poner en orden y en un solo lugar los equipos electrónicos de cualquier sistema. El cuarto en Limoncito es una implementación fundamental en el proceso de futuras implementaciones tecnológicas.

## RECOMENDACIONES

En base al estudio de esta tesis, a ZigBee Alliance propone a ZigBee como el nuevo estándar global para la automatización del hogar, porque permite que las aplicaciones domóticas desarrolladas por los fabricantes sean completamente interoperables entre sí, garantizando así al cliente final fiabilidad, control, seguridad y comodidad. ZigBee es un estándar abierto, permitiendo que terceros mejoren la interoperabilidad entre dispositivos y las características generales del estándar. Es recomendación para que inventores de nuestro país hagan esfuerzos por proponer una versión con Microcontroladores a los controles de transmisión en sus bandas conocidas.

Esta nueva aplicación fue creada para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo costo, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

Se recomienda que se de un mantenimiento a los equipos que forman el radioenlace de voz fijo y móvil, esta debe ser una empresa, por ejemplo la empresa Pricor S.A. que es la que dá el mantenimiento a los radios y sistemas de la UCSG (guardianía, mantenimiento etc.).

Se recomienda firmar un contrato de arrendamiento de un año con los administradores de Cerro azul por la ocupación de un puesto en la torre, esto es por las antenas direccionales y como la de los equipos de radio, duplexores, panel multi tonos, baterías etc.

Si se desea que más usuarios con radios estén dentro del sistema de radioenlace, se lo puede hacer el sistema soporta un tráfico de voz de hasta 30 usuarios.

## **BIBLIOGRAFIA**

Ojeda H., Antonio. Implementación de experiencias para la medición de parámetros de calidad en equipos de radiocomunicaciones en las bandas de VHF y UHF, 2º. Ed. Errepar S.A. Santiago de Chile. 2007

Wayne Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Prentice Hall, Segunda Edición, 2006.

Angel Cardama A., Antenas, 3º. Ed. Alfaomega, 2004.

### **Paginas webs:**

[www.supertel.com.ec](http://www.supertel.com.ec), 2010

[www.motorola.com](http://www.motorola.com), 2010

[www.kenwood.com](http://www.kenwood.com), 2010

<http://arieldx.tripod.com>, 2010

**ANEXO 1**

**PRESUPUESTO DEL RADIOENLACE**

**NO LIMIT SERVICE S.A.**

**ANEXO FACTURA No: 0265**

**COMPRADOR: UCSG**

**RUC:**

**DIRECCIÓN:**




**ATENCIÓN:**





**FECHA: 5 de Marzo del 2010**

| DESCRIPCIÓN  | VALOR    | CANT.        | SUBTOTAL        |
|--|----------|--------------|-----------------|
| <b>Radio TRx Motorola CDR 500</b>  | 1.700,00 | 1            | 1.700,00        |
| Duplexor 4 cavidades   | 1.000,00 | 2            | 2.000,00        |
| panel multitonos   | 350,00   | 2            | 700,00          |
| Antenas yagi 20 dBi  | 250,00   | 3            | 750,00          |
| Radio portátiles kenwood-500 MHz   | 450,00   | 3            | 1.350,00        |
| Rollo Cable Belden RG.8  | 100,00   | 1            | 100,00          |
| Conectores PL258-9 y mini UHF  | 15,00    | 10           | 150,00          |
| Dispositivos y periféricos para sistema radio  | 240,00   |              | 240,00          |
| varios   | 100,00   |              | 100,00          |
| <b>Total</b>   |          |              | <b>7.090,00</b> |
| CONSTRUCCION DE UN CUARTO 2,5X2,5X2,3 m.<br>CON LOZA, PUERTA METALICA, 3 TOMAS<br>CORRIENTES POLARIZADAS, SISTEMA DE<br>TIERRA<br>ILUMINACION, VENTILACION, PINTADO<br>TRANSPORTE, PAGO ALBAÑILES, VARIOS ETC. |          |              | 1.700,00        |
|  |          | <b>TOTAL</b> | <b>8.790,00</b> |

## ANEXO 2

### COMPARACION DE RADIO VS OTROS SISTEMAS

|                                |  |  |  |
|--------------------------------|--|---|---|
| ASPECTOS DE COMUNICACION       | Beeper   | Radio 2V  | Celular   |
| Bidireccional                  |  |   |   |
| Unidireccional                 |  |   |   |
| Uno a uno                      |  |   |   |
| Uno a muchos                   |  |   |   |
| Comunicación de corta duración |  |   |   |
| Comunicación de larga duración |  |   |   |
| Interna                        |  |   |   |
| Externa                        |  |   |   |
| Negocios                       |  |   |   |
| Personal                       |  |   |   |
| Local                          |  |   |   |
| Área extendida                 |  |   |   |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|  No es posible |  Desempeño aceptable |  Buen desempeño |  Excelente desempeño |
|---|---|--|---|

| ASPECTOS ECONOMICOS                         | BEEPER | RADIO 2 VIAS | CELULAR |
|---|--------|--------------|---------|
| Tarifa mensual                              | SI     | NO           | SI      |
| Cobro por tiempo al aire/mensajes recibidos | SI     | NO           | SI      |
| Licencia frecuencia                         | NO     | SI           | NO      |

### ANEXO 3

