

**IMPLEMENTACION DE RADIOS PROTOTIPO PARA EL MONITOREO  
DE SISMICIDAD QUE ADELANTA EL OBSERVATORIO  
VULCANOLOGICO DE INGEOMINAS POPAYAN**

**ANDRES FELIPE SOLIS QUINTERO  
LUIS ARMANDO GIRON RENGIFO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA  
EDUCACION  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN CIUDAD UNIVERSITARIA  
2005**

**IMPLEMENTACIÓN DE RADIOS PROTOTIPO PARA EL MONITOREO  
DE SISMICIDAD QUE ADELANTA EL OBSERVATORIO  
VULCANOLOGICO DE INGEOMINAS POPAYAN**

**ANDRES FELIPE SOLIS QUINTERO  
LUIS ARMANDO GIRON RENGIFO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el  
título de Ingenieros Físicos**

**Director**

**Dr. FRANCISCO RACEDO NIEBLES**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA  
EDUCACION  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN CIUDAD UNIVERSITARIA  
2005**

Nota de Aceptación

---

---

Director

---

Dr. Francisco Racedo Niebles...

---

Jurado ...

---

Jurado ...

Popayán, Marzo de 2005.

A mis padres  
quienes me  
brindaron su  
apoyo durante  
toda mi  
carrera, a mi  
hermano Diego  
quien siempre  
tuvo una voz  
de aliento  
cuando las  
cosas se  
tornaban más  
difíciles. A mis  
amigos.

A mi familia  
por el apoyo.  
Mamita  
muchas  
gracias por  
todo. A mis  
compañeros  
y amigos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros más profundos agradecimientos a:

Francisco Racedo Niebles, Director del Grupo ELES y Director del trabajo de Investigación, por sus valiosos aportes.

A la Universidad del Cauca quien nos dio la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente al interior del programa de Ingeniería Física.

Al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, en cabeza de su directora Adriana Agudelo quien siempre nos apoyo durante todo el desarrollo del trabajo de Investigación.

## CONTENIDO

Pág.

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Radiopropagación y Telemetría</b> .....	14
1.1.1	Espectro Electromagnético.....	15
<b>1.2</b>	<b>Tipos de Propagación</b> .....	16
1.2.1	Propagación por onda terrestre.....	16
1.2.2	Propagación Ionosférica.....	17
1.2.3	Propagación troposférica.....	18
1.2.4	Propagación por línea de vista.....	19
1.2.4.1	Características de un enlace por LOS (Línea de Vista, Line of Sight).....	20
1.2.4.2	Planeación del enlace.....	21
<b>1.3</b>	<b>Fenómenos Físicos en la Radiopropagación</b> .....	22
1.3.1	Reflexión.....	22
1.3.2	Refracción.....	24
1.3.3	Difracción.....	25
<b>1.4</b>	<b>Telemetría</b> .....	26
1.4.1	Telemetría vía Radio.....	26
<b>1.5</b>	<b>Modulación</b> .....	27
1.5.1	Modulación en Frecuencia.....	28
1.5.2	Modulación en Amplitud.....	29
1.5.3	Modulación en Fase.....	31
1.5.4	Modulación ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud, Amplitude Switch Keying).....	32
<b>1.6</b>	<b>Perturbaciones que afectan la señal</b> .....	34
1.6.1	Distorsión.....	34
1.6.2	Interferencia.....	34
1.6.3	Ruido.....	35
1.6.3.1	Ruido Térmico.....	36
1.6.3.2	Ruido Interno al sistema de recepción.....	37
1.6.3.3	Ruido externo al sistema de recepción.....	37
<b>1.7</b>	<b>Desvanecimiento</b> .....	37
1.7.1	Desvanecimiento por Multitrayectoria.....	38
1.7.2	Desvanecimiento de potencia o atenuación.....	38
<b>1.8</b>	<b>Señales Sísmicas</b> .....	39
<b>1.9</b>	<b>Ondas Sísmicas</b> .....	40
1.9.1	Ondas P.....	40
1.9.2	Ondas S.....	41
1.9.3	Ondas Superficiales.....	42

1.10	<b>Clasificación de Señales Sísmicas</b> .....	42
1.10.1	Clasificación de Minakami .....	43
1.10.2	Clasificación de Latter .....	44
1.10.3	Clasificación de la sismicidad en el Volcán Puracé .....	46
1.10.3.1	Sismos Volcano Tectónicos (VT) .....	46
1.10.3.2	Eventos de Largo Periodo (LP).....	47
1.10.3.3	Tremor Volcánico (TR).....	48
2	<b>DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL OBSERVATORIO SISMOLÓGICO DE POPAYÁN</b> .....	49
2.1	<b>Sistema de Telemetría del Observatorio de Popayán</b> .....	49
2.1.1	Sensores (Geófono) .....	50
2.1.2	VCO (Oscilador Controlado por Voltaje, Voltage Controlled Oscillators).....	51
2.1.3	Radio Transmisor .....	52
2.1.4	Antena .....	52
2.1.5	Radio Receptor.....	53
2.1.6	Discriminadores .....	54
2.1.7	Registradores .....	55
3	<b>DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS RADIOS</b> .....	57
3.1	<b>Consideraciones para el diseño de sistemas de RF</b> .....	57
3.2	<b>Radio Módulos</b> .....	58
3.2.1	Módulo TLP434A-0.5W .....	59
3.2.2	Módulo TXM-433-10 .....	60
3.2.3	Módulo RLP434A.....	61
3.2.4	Módulo SILRX-433-10 .....	61
3.3	<b>Emulación y montaje de una Estación Sismológica</b> .....	62
3.3.1	Estación Sismológica.....	63
3.3.2	Emulación de una Estación Sismológica .....	63
3.3.3	Montaje de la Estación Sismológica Emulada .....	64
3.3.4	Componentes ubicados en las instalaciones del Observatorio .....	65
3.4	<b>Construcción de los radios prototipo</b> .....	66
3.4.1	Construcciones y Montajes Preliminares de los Transmisores .....	66
3.4.2	Construcción y Montaje Preliminar del Receptor .....	70
3.4.3	Construcción y Montaje Final del Transmisor .....	72
3.4.4	Construcción y Montaje Final del Receptor .....	74
3.5	<b>Calibración de las antenas</b> .....	75
3.6	<b>Desarrollo de la aplicación grafica para la adquisición de las señales</b> .....	75
3.6.1	Características de la Aplicación.....	76
4	<b>ANÁLISIS PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UN RADIOENLACE REMOTO</b> .....	79
4.1	<b>Transmisión de una señal a través de un radioenlace establecido</b> .....	80



4.2	<b>Descripción de un radioenlace a corta distancia</b> .....	81
4.3	<b>Pruebas realizadas a los radioenlaces a corta distancia implementados</b> .....	82
4.3.1	Medidas y Pruebas realizadas con los Radios Construidos en la Fase Preliminar .....	82
4.3.2	Medidas y Pruebas realizadas con los Radios Construidos en la Fase Final .....	84
4.4	<b>Descripción del radioenlace remoto establecido</b> .....	87
4.5	<b>Pruebas realizadas al radioenlace establecido</b> .....	88
4.5.1	Pruebas de Calibración y Pruebas de Alta .....	88
4.5.2	Registro continuo de Señales .....	89
4.6	<b>Cálculos realizados al radioenlace establecido</b> .....	90
4.6.1	Pérdidas en la Línea de Transmisión .....	90
4.6.2	Cálculo de las Potencias P.R.A y P.E.R .....	91
4.6.3	Densidad de Potencia e Intensidad del Campo Eléctrico .....	92
4.6.4	Pérdidas de Espacio Libre .....	94
4.6.5	Potencia a la entrada del receptor .....	94
4.6.6	Margen de umbral del receptor .....	95
5	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	97
5.1	<b>Salida de campo a las estaciones de monitoreo de la actividad sísmica del Volcán Puracé</b> .....	98
5.2	<b>Análisis de los resultados obtenidos con los radios prototipo</b> .....	104
5.2.1	Resultados del radio Tx con el Módulo <i>TPL434A</i> .....	105
5.2.2	Resultados del radio Tx con el Módulo <i>TPL434A-0.5W</i> .....	107
5.2.3	Resultados del radio Tx con el Módulo <i>TXM-433-10</i> .....	109
6	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	113
7	<b>REFERENCIAS</b> .....	115

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Espectro de frecuencias electromagnéticas. ....	15
Figura 1.2. Propagación por onda terrestre .....	17
Figura 1.3. Propagación Ionosférica .....	18
Figura 1.4. Propagación Troposférica.....	19
Figura 1.5. Propagación por línea de vista .....	20
Figura 1.6. Fenómeno de reflexión .....	23
Figura 1.7. Fenómeno de refracción.....	24
Figura 1.8. Vista del Fenómeno de Difracción. ....	25
Figura 1.9. Representación de una onda portadora.....	28
Figura 1.10. Representación de una onda moduladora. ....	28
Figura 1.11. Representación de una onda modulada en frecuencia.....	29
Figura 1.12. Representación de una onda modulada en amplitud.....	30
Figura 1.13. Señal moduladora binaria.....	33
Figura 1.14. Señal B-ASK.....	33
Figura 1.15. Movimiento de las ondas tipo P .....	40
Figura 1.16. Movimiento de las ondas tipo S .....	41
Figura 1.17. Registro de un evento Volcano Tectónico .....	46
Figura 1.18 Registro de un evento de Largo Periodo .....	47
Figura 1.19. Registro de un Tremor Volcánico .....	48
Figura 2.1. Imagen del Geófono Mark L-4C de tres componentes.....	50
Figura 2.2. Diagrama en bloques de la etapa amplificadora del VCO.....	51
Figura 2.3. Diagrama en bloques del sistema de transmisión. ....	52
Figura 2.4. Antena Yagi .....	53
Figura 2.5. Diagrama en bloques del sistema de recepción. ....	54
Figura 2.6. Diagrama en bloques de las etapas del discriminador.....	54
Figura 2.7. Diagrama en bloques del registrador.....	55
Figura 3.1. Diagrama en bloques del Transmisor <i>TXM-433-10</i> .....	61
Figura 3.2. Diagrama en bloques del receptor <i>SILRX-433-10</i> .....	62
Figura 3.3. Foto de una estación sismológica emulada .....	65
Figura 3.4. Diagrama esquemático implementado con el transmisor <i>TLP434</i> con dos etapas de potencia.....	67
Figura 3.5. Diagrama esquemático implementado con el transmisor <i>TLP434</i> con una etapa de potencia .....	68
Figura 3.6. Diagrama esquemático implementado con el transmisor <i>TLP434-0.5W</i> .....	69
Figura 3.7. Radio transmisor construido con el módulo <i>TLP434A-0.5W</i> .....	69

Figura 3.8. Diagrama esquemático implementado con el receptor <i>RLP434</i> .....	71
Figura 3.9. Radio receptor construido con el módulo <i>RLP434</i> .....	71
Figura 3.10. Diagrama esquemático implementado con el Transmisor <i>TXM-433-10</i> .....	73
Figura 3.11. Radio transmisor construido con el módulo <i>TXM-433-10</i> .....	73
Figura 3.12. Diagrama esquemático implementado con el Receptor <i>SILRX-433-10</i> .....	74
Figura 3.13. Radio receptor construido con el módulo <i>SILRX-433-10</i> .....	75
Figura 3.14. Diagrama esquemático de la aplicación desarrollada en Labview.....	77
Figura 3.15. Panel frontal de la configuración del puerto serial. ....	77
Figura 3.16. Panel frontal para el despliegue de la señal adquirida.....	78
Figura 4.1. Pruebas de calibración realizadas en las instalaciones del Observatorio.....	85
Figura 4.2. Registro continuo de señales tomado con el radioenlace establecido a corta distancia.....	87
Figura 5.1. Foto parte externa estación de la Mina.....	99
Figura 5.2. Foto medida de voltaje de las baterías .....	100
Figura 5.3. Foto componentes estación Cóndor .....	101
Figura 5.4. Emplazamiento de las antenas repetidora del Huila, y transmisora a Popayán.....	102
Figura 5.5. Foto panel solar .....	103
Figura 5.6. Foto componentes de la estación la Mina.....	104
Figura 5.7. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor <i>TLP434A</i> con acople de dos etapas de potencia.....	106
Figura 5.8. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor <i>TLP434A</i> con acople de una etapa de potencia.....	107
Figura 5.9. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor <i>TLP434A-0.5W</i> .....	108
Figura 5.10 Pruebas de calibración y registro continuo de señales obtenido con el radioenlace remoto establecido .....	110
Figura 5.11 Pruebas de alta obtenidas sobre el registrador con el radioenlace remoto establecido .....	112

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Designaciones de las bandas de frecuencias establecida por la ITU.....	16
Tabla 5.1 Resultados de frecuencia y potencia del radio con <i>TLP434A</i> .....	105
Tabla 5.2. Resultados de frecuencia y potencia del radio con <i>TLP434A-0.5W</i> .....	107
Tabla 5.3. Resultados de frecuencia y potencia radio con <i>TXM-433-10</i> .....	110

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A Datasheet TLP434A-0.5W.....	118
Anexo B Datasheet TLP434A y RLP434A.....	119
Anexo C Datasheet TXM-433-10.....	120
Anexo D Diagrama en Bloques de un Receptor Superheterodino .....	121
Anexo E Datasheet SILRX-433-10 .....	122
Anexo F Definiciones de dB, dBm y dBw.....	123

## RESUMEN

Este trabajo consistió en construir radios prototipo, que fueron puestos en funcionamiento en una estación sismológica emulada en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, esta estación se emuló con el fin de realizar la adquisición de señales de prueba que son utilizadas para verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos de las estaciones sismológicas, y así poder verificar que se este efectuando un correcto monitoreo de las señales con estas.

Para alcanzar el objetivo se emplearon módulos de Radio Frecuencia (*RF*) o chips híbridos que ofrecen la ventaja de trabajar alrededor de la frecuencia en la que debía operar el sistema (434MHz), esta frecuencia ha sido utilizada por Ingeominas y brinda la posibilidad de una buena adquisición de las señales, con poco ruido e interferencias, además estos módulos minimizan la cantidad de componentes en la construcción de los radios, lo que a su vez reduce el ruido y hace mas fácil identificar alguna falla técnica que se pueda presentar en los mismos, debido a esto las señales obtenidas presentaron una buena calidad, esto permitió que se pudiera hacer un buen análisis e interpretación física de las mismas, la adquisición de estas señales fue realizada de dos formas, una a través del puerto serial de un computador, en el cual se desarrolló una aplicación gráfica en Lab-view para realizar la interfaz, (Receptor-Computador), esta aplicación junto con sus características, será mencionada en el capítulo 3 de este documento, la otra forma fue a través de un registrador Kinometrics *PS-2* sobre el cual se obtuvieron

registros de papel ahumado que presentaban una serie de señales importantes tales como pruebas de calibración, pruebas de alta etc.

## INTRODUCCIÓN

El Instituto Ingeominas Centro operativo Popayán, es un Observatorio Vulcanológico que viene adelantando actividades de vigilancia sísmica desde hace ya 12 años en la región sur occidental de Colombia, para cumplir con esto el Instituto cuenta con una serie de componentes entre los que se destaca un sistema de telemetría que es el encargado de capturar las señales sísmicas provenientes del sensor y transmitir las vía radio frecuencia (*RF*) para que sean recibidas, estudiadas y procesadas en sus instalaciones, teniendo en cuenta esto y la importancia que tiene este sistema para la región, ya que es el encargado de mantener actualizada la información de su actividad volcánica, y además analizando que una de las partes que mas se ve afectada en el sistema continuamente por múltiples razones son los radios (Transmisores y Receptores), se planteo este proyecto para brindar una alternativa de solución consistente en elaborar una pareja de radios prototipo que se ajustara a los requerimientos de Ingeominas, entre estos requerimientos se destacan la frecuencia y potencia de operación, que debía estar en el orden de los 400 a 450 MHz para la frecuencia y presentar una potencia no superior a 500 mW; otro aspecto importante era que estos radios ofrecieran bajo costo en comparación con los radios con los que tradicionalmente trabaja el sistema, de este modo se estaría avanzando no solo en el área electrónica con relación al diseño de los radios, ya que la tecnología utilizada para este diseño es superior a los radios tradicionales, sino también con relación a las ventajas que representa para Ingeominas contar con una mayor cantidad de radios que ofrecerían una mayor área de cobertura y por ende una mejor información acerca de la localización de un evento sísmico, otro de los alcances de este proyecto es que en un futuro



este tipo de radios podrían ser utilizados por otros observatorios vulcanológicos del país tales como el de Manizales, Armenia, Pasto, etc, que también cuentan con sistemas de telemetría similares a los de Ingeominas Popayán.

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Radiopropagación y Telemetría

Cuando se trata de interfazar equipos de comunicación que se encuentran a grandes distancias, entendiéndose por grandes distancias para este tipo de aplicaciones las superiores a un kilómetro, resulta impráctico tratar de realizar esta interfaz por medio de alguna conexión física como cable, es por esta razón que en estos casos se usa el espacio libre en la atmósfera de la tierra como “medio de transmisión” [3,7,17], para realizar este tipo de aplicaciones. El tipo de información que se desea transmitir se convierte en energía eléctrica y posteriormente en ondas electromagnéticas que son radiadas por una antena que se encuentra acoplada a un transmisor, luego estas ondas electromagnéticas se propagan a través del espacio libre hasta llegar a la antena receptora que es el dispositivo que en primera instancia recupera la señal de información original, para lograr esto es necesario que las ondas electromagnéticas radiadas se encuentren en una región del espectro conocida como banda de radio frecuencia que esta comprendida en el rango de los 300KHz a los 300GHz [6,17,20], cuando se cumple este requerimiento, el proceso de transmisión de una señal desde un punto a otro es conocido como radiopropagación, que es el elemento principal en la realización de enlaces para adquisición y procesamiento de datos por telemetría vía radio.

Existen diferentes modos en que se propagan las ondas de radio desde que estas salen desde el punto emisor y arriban al punto receptor, para aclarar un poco esto, en la sección 1.2 se describirán los tipos más comunes de propagación junto con todas sus características.

### 1.1.1 Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la clasificación de radiaciones electromagnéticas según su longitud de onda o su frecuencia, de tal manera que sea un arreglo sucesivo de estas y aunque en su totalidad comprende todas las frecuencias y longitudes existentes, para aplicaciones relacionadas con radiofrecuencia solo se trabaja con una franja de este espectro conocida como espectro electromagnético de telecomunicaciones o espectro radioeléctrico [20], (ver figura 1.1)

División del espectro electromagnético de telecomunicaciones

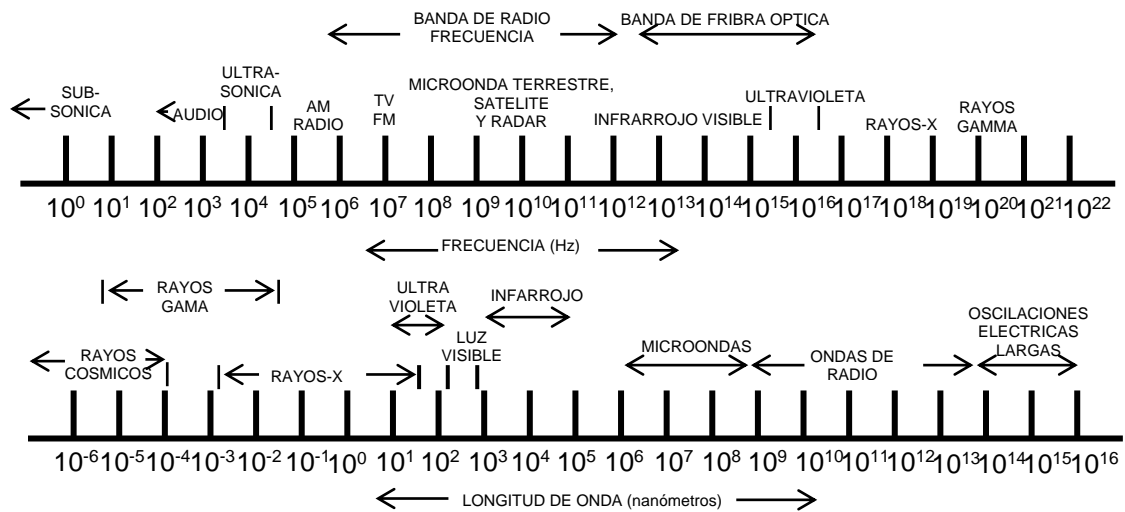


Figura 1.1. Espectro de frecuencias electromagnéticas.

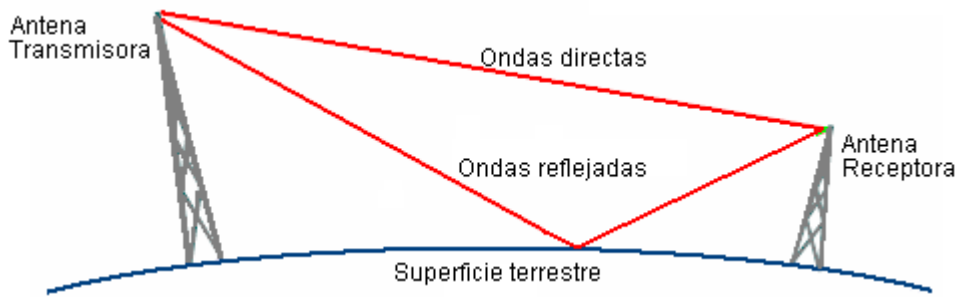
<b>RANGO DE FRECUENCIA</b>	<b>DESIGNACIONES</b>
30 – 300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
0.3 – 3 KHz	VF(frecuencias de voz)
3 – 30 KHz	VLF(frecuencias muy bajas)
30 – 300 KHz	LF(frecuencias bajas)
0.3 – 3 MHz	MF(frecuencias medianas)
3 – 30 MHz	HF(frecuencias altas)
30 – 300 MHz	VHF(frecuencias muy altas)
0.3 – 3 GHz	UHF(frecuencias ultra altas)
3 – 30 GHz	SHF(frecuencias súper altas)
30 – 300 GHz	EHF(frecuencias extremadamente altas)
0.3 – 300 THz	Luz infrarroja
0.3 – 3 PHz	Luz visible
3 – 30 PHz	Luz ultravioleta
30 – 300 PHz	Rayos – X
0.3 – 3 EHz	Rayos gamma
3 – 30 EHz	Rayos cósmicos

**Tabla 1.1 Designaciones de las bandas de frecuencias establecida por la ITU  
(Unión Internacional de Telecomunicaciones, International Telecommunication Union)**

## **1.2 Tipos de Propagación**

### **1.2.1 Propagación por onda terrestre**

En este tipo de propagación las ondas siguen la curvatura de la tierra y su orografía, de esta manera pueden salvar montañas y alcanzar una distancia considerable antes de que sean absorbidas por el suelo, se debe tener en cuenta que este tipo de propagación se presenta en frecuencias bajas, inferiores a los 4 MHz y además que el alcance es mucho mayor para frecuencias mas bajas aún [17,29], para casos prácticos este tipo de propagación se presenta en emisoras de radio difusión de onda media y larga.



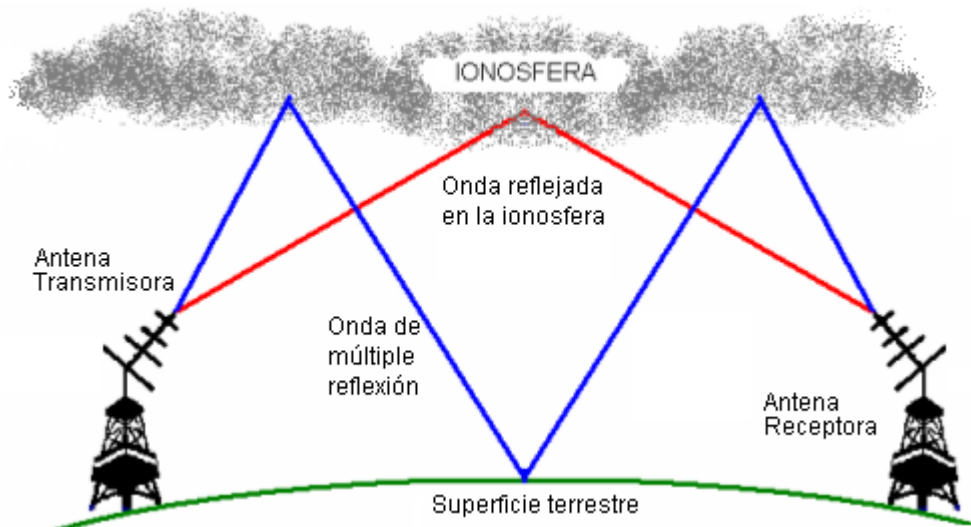
**Figura 1.2. Propagación por onda terrestre**

### 1.2.2 Propagación Ionosférica

En este tipo de propagación influye la ionosfera que es una capa atmosférica que se encuentra situada entre los 40 y 320 kilómetros de la superficie terrestre y esta formada por aire fuertemente ionizado por la radiación solar, cuando esta capa se encuentra eléctricamente cargada se produce una refracción o desviación de la trayectoria de las ondas de radio que se va repitiendo y que posteriormente se convierte en una reflexión actuando como un espejo que se encarga de devolver las ondas a la tierra. Esta reflexión puede salvar la curvatura de la tierra y de este modo permitir la comunicación entre dos estaciones que estén separadas por miles de kilómetros [29], en algunas ocasiones ocurre que la tierra refleja también las ondas de radio hacia la ionosfera que vuelve a reflejarlas otra vez a la tierra y se sigue repitiendo este ciclo incrementando la distancia en cada salto, de este modo se puede establecer comunicación con cualquier punto ubicado en la tierra si se dan las condiciones necesarias, este tipo de reflexión es conocido como reflexión múltiple.

Las posibilidades de comunicación por propagación ionosférica están determinadas por la frecuencia utilizada que en la mayoría de los casos no supera los 30MHz [27], salvo casos excepcionales donde se pueden reflejar frecuencias superiores a los 140MHz, y por el nivel de ionización de la

atmósfera, de este modo se tiene que a un mayor valor de la frecuencia de transmisión menor será la refracción sufrida por la misma en la ionosfera, en cada momento del día existe una máxima frecuencia que es reflejada por la ionosfera a la tierra y se le conoce como *MUF* (Máxima frecuencia utilizable, Maximun usable frequency), las frecuencias por encima de esta no se reflejan y se van por el espacio, esta frecuencia depende del grado de ionización de la ionosfera que a su vez depende de la radiación solar, para casos de aplicación prácticos este tipo de propagación es la que permite a los radioaficionados hablar con gente de todo el mundo y a las emisoras internacionales ser escuchadas a miles de kilómetros de distancia.



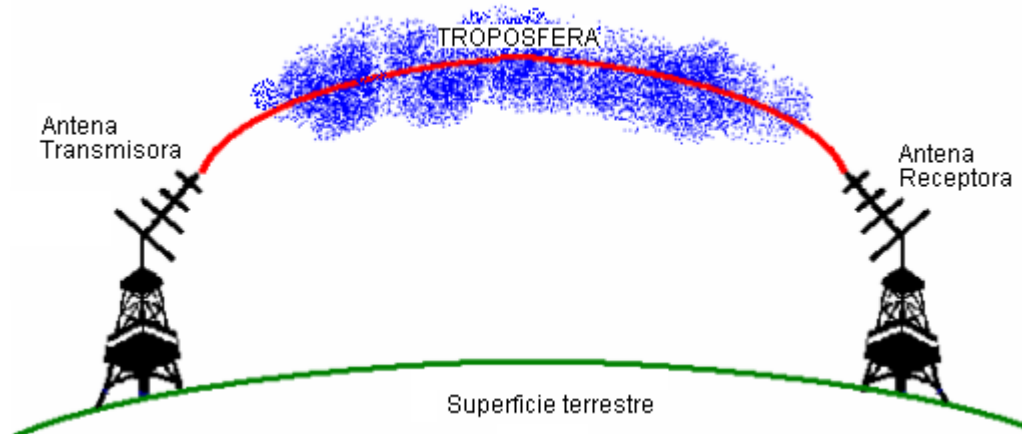
**Figura 1.3. Propagación Ionosférica**

### 1.2.3 Propagación troposférica

La troposfera es una capa atmosférica situada justo debajo de la estratosfera, y está comprendida entre los 11 Km y los 16 Km sobre la superficie de la tierra.

En esta capa se forman las nubes y la temperatura desciende rápidamente con la altitud.

Cuando se produce una inversión del gradiente de temperatura (más conocido como "inversión térmica") se producen los denominados canales de ionización, en los que las ondas se desplazan con gran facilidad. Estas circunstancias se dan esporádicamente, y permiten la comunicación a grandes distancias en frecuencias de *VHF* o de *UHF*, a una distancia de hasta 1500 Km o más, cuando normalmente estas frecuencias tienen un alcance visual de unos 150 Km.



**Figura 1.4. Propagación Troposférica**

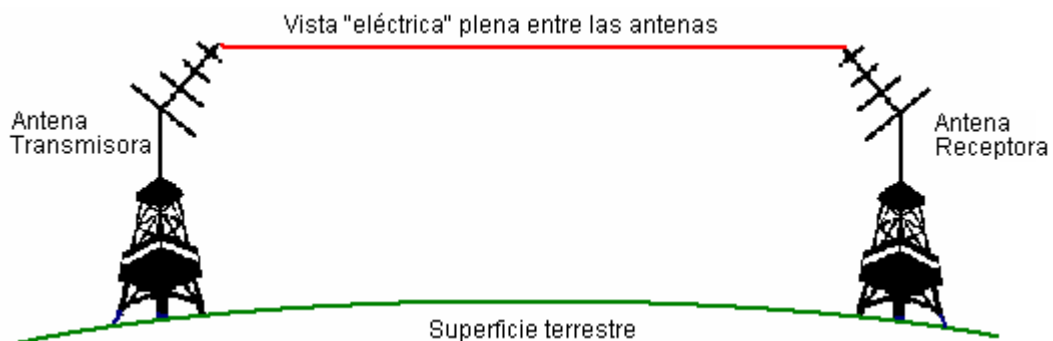
#### **1.2.4 Propagación por línea de vista**

La condición de línea de vista se presenta en enlaces de radio en los que las antenas transmisora y receptora se "ven" eléctricamente.

Este tipo de propagación es aplicado principalmente en las bandas de frecuencia de *VHF*, *UHF*, y *SHF*, estas bandas están comprendidas desde los 30MHz hasta los 30GHz [6,17,20], presentando características diferentes de propagación en las tres bandas de frecuencia, de este modo para

frecuencias que se encuentran por encima de los 10GHz la señal electromagnética esta sometida a factores de atenuación adicionales que se deben a condiciones atmosféricas no propicias como absorción gaseosa, precipitación de lluvia, etc. [17,31].

Teniendo en cuenta este punto de vista, cuando se va a planificar un enlace de radio es necesario analizar todos los factores que puedan generar desvanecimientos de la señal como los que se mencionan en la sección 1.7 de este documento, para esto se debe conocer básicamente la frecuencia a la que va a operar el sistema, que para el caso de este trabajo fue de 433.92 MHz, con los radios que presentaron mejores características de funcionamiento.



**Figura 1.5. Propagación por línea de vista**

#### **1.2.4.1 Características de un enlace por LOS (Línea de Vista, Line of Sight)**

Los enlaces por línea de vista se caracterizan por ser aplicados para cubrir distancias que varían entre unos metros hasta unos 100 kilómetros o a veces un poco mas, además los niveles de potencia que se requieren para obtener una buena calidad de la señal son bajos [3,29], para el caso de este trabajo en particular son del orden de los milivatios.



Un enlace LOS se puede aplicar tanto a enlaces terrestres como a enlaces satelitales [31], para este proyecto el interés se centró en el primer caso y cuando la distancia a cubrir no es muy grande, no es necesario hacer configuraciones especiales del enlace como realizar la instalación de estaciones repetidoras, esta distancia es una de las consideraciones que se debe tener en cuenta inicialmente cuando se esta planeando el enlace debido a que se debe prever la necesidad de varios saltos o si es suficiente con solo uno, para esto se analiza que en muy pocas ocasiones pueden tenerse enlaces de mas de 100 Kilómetros en un solo salto.

#### **1.2.4.2 Planeación del enlace**

Existe un procedimiento estándar para lograr alcanzar un buen dimensionamiento de los parámetros técnicos que se involucran en un enlace por línea de vista, sin importar si el enlace a planear es analógico o digital.

Lo primero que se debe tener presente es la selección del sitio de operación de las estaciones transmisora y receptora, teniendo en cuenta que esto involucra tomar prevenciones que permitan reducir costos de implementación, analizando una serie de factores como facilidades de transporte, infraestructura que se encuentre en el sitio, facilidades de acceso para movilizar materiales, realizar supervisión de operaciones y mantenimiento, etc., después de este paso se debe considerar la frecuencia a la que va a trabajar el sistema, esto se hace con base en estudios realizados sobre la disponibilidad de frecuencias y bandas asignadas en cada país, luego se hace el desarrollo del perfil del trayecto y cálculo de la altura de la torre para antena, esto se hace con mapas que se encuentran disponibles en el Instituto Agustín Codazzi en forma digitalizada [31], se debe tener en cuenta que el estudio del perfil del trayecto es muy importante porque permite determinar la presencia de obstáculos en la trayectoria de la señal, aunque para el caso de este trabajo en particular este no se hizo

necesario debido a que el enlace era un enlace con línea de vista plena y por ende no existían obstáculos significativos que afectaran el arribo directo de las señales.

Posteriormente se realizan los cálculos propios del enlace (Ver numeral 4.6 ), tales como el nivel de potencia que hay a la entrada del receptor, este debe estar acorde al umbral del mismo y al margen de desvanecimiento para de este modo poder garantizar el porcentaje de disponibilidad que se requiere [6,31], teniendo todo esto realizado se pasa a los tres últimos pasos de la planeación los cuales son la configuración de los equipos, la instalación de los mismos y la puesta en servicio y el test de aceptación, en estos pasos se debe buscar el equilibrio entre los costos de implementación y el desempeño del sistema, además de garantizar el respaldo de los equipos y por ultimo simular las fallas que presente el sistema en el test de aceptación que es la fase donde se pone a punto la operación del enlace y en el que se hace una verificación supervisada del correcto funcionamiento de los equipos.[3,6,31].

### **1.3 Fenómenos Físicos en la Radiopropagación**

Las ondas electromagnéticas son el fenómeno físico que permite la radiocomunicación y por esta razón son de gran importancia para cualquier persona que desee trabajar en esta área, estas ondas están expuestas a otros fenómenos físicos como los de reflexión, refracción, difracción, e interferencia cuando viajan de un punto a otro [10,14,26].

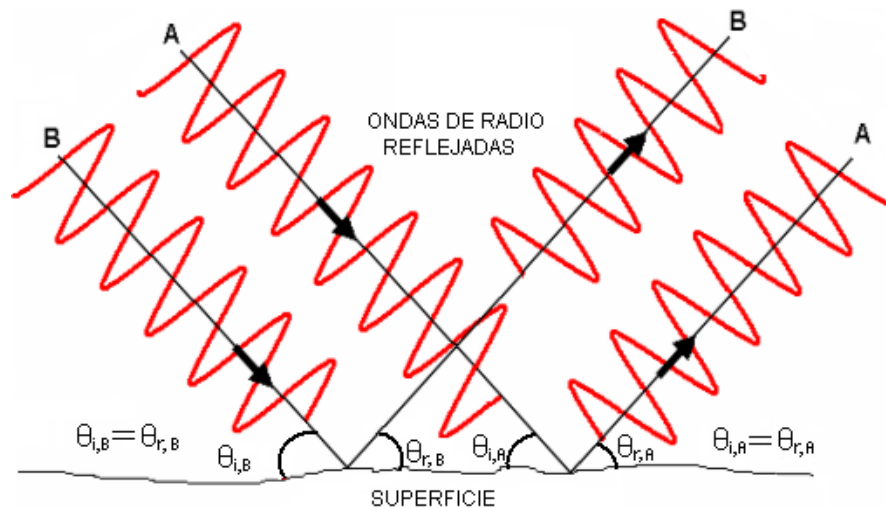
#### **1.3.1 Reflexión**

Este fenómeno ocurre cuando una onda choca contra una superficie que limita a un medio causando un cambio en su dirección, para el caso de que la superficie sea buena conductora, se reflejará casi toda la energía que llegue a ella, y en el caso de que se trate de un dieléctrico se disminuirá su poder,

es decir el poder de reflexión de una superficie es directamente proporcional a su conductividad [10,26], cabe aclarar que la reflexión de las ondas de radio cumple las mismas leyes que en óptica.

Las reflexiones se producen en objetos grandes, tanto móviles como estacionarios, cuyo tamaño debe ser de varias longitudes de onda a la frecuencia de trabajo y de superficies planas. Para frecuencias de *VHF* o superiores se pueden comportar como reflectores las capas ionizadas de la alta atmósfera, los límites entre las masas de aire de diferente temperatura y humedad de la baja atmósfera y también las grandes acumulaciones de agua.

Las reflexiones en la atmósfera permiten las comunicaciones mas allá del horizonte óptico sobre la superficie de la tierra. Tanto el receptor como el transmisor deben apuntar hacia las superficies reflectantes y la superficie común no necesariamente debe estar ubicada a mitad de camino entre ambos puntos.



**Figura 1.6. Fenómeno de reflexión**

### 1.3.2 Refracción

Es el fenómeno que desvía la dirección de propagación de las ondas cuando éstas pasan de un medio a otro en el cual la velocidad de propagación es diferente [26]. En la atmósfera condiciones que pueden cambiar la dirección las ondas pueden ser la temperatura, humedad, etc., ya que producen diferentes conductividades en las distintas capas. El efecto de la refracción puede observarse en la figura 1.7, donde la señal atraviesa un medio con diferente densidad y luego vuelve a uno con densidad similar a la del medio original.

Las ondas electromagnéticas pueden sufrir una desviación en su trayectoria cuando atraviesan las diferentes capas de la atmósfera desde la troposfera hasta la ionosfera con cierto ángulo [14], debido a las diferentes densidades en cada una de estas capas y si los índices de refracción de cada una de estas capas son muy diferentes, se produce una refracción total, siendo las frecuencias de *VHF* y superiores las más propensas a esta desviación de trayectoria. La desviación de la trayectoria es proporcional al índice de refracción, que es el cociente entre la velocidad de propagación en el vacío y la velocidad de propagación en el medio atravesado.

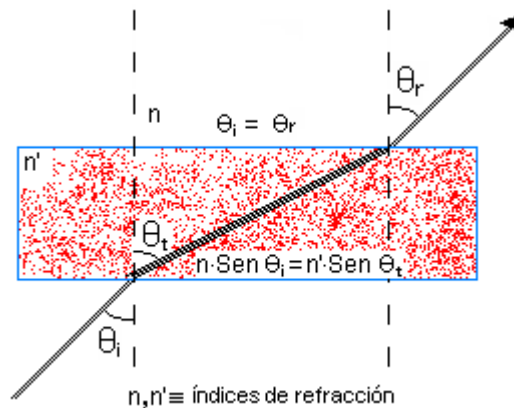


Figura 1.7. Fenómeno de refracción

### 1.3.3 Difracción

Las ondas de radio tienen en muchos casos propiedades semejantes a las luminosas. Todo rayo luminoso que encuentre un obstáculo en su trayectoria produce una zona de sombra [10,26]. Una onda de radio que encuentre un obstáculo deja al otro lado de él una zona de sombra o un área en la cual no llega esta onda y una parte en donde la intensidad de campo es muy pequeña en comparación con el área de rayo directo. La difracción también es el fenómeno por el cual las ondas electromagnéticas se propagan en las esquinas de los objetos y hace que la onda se esparza.

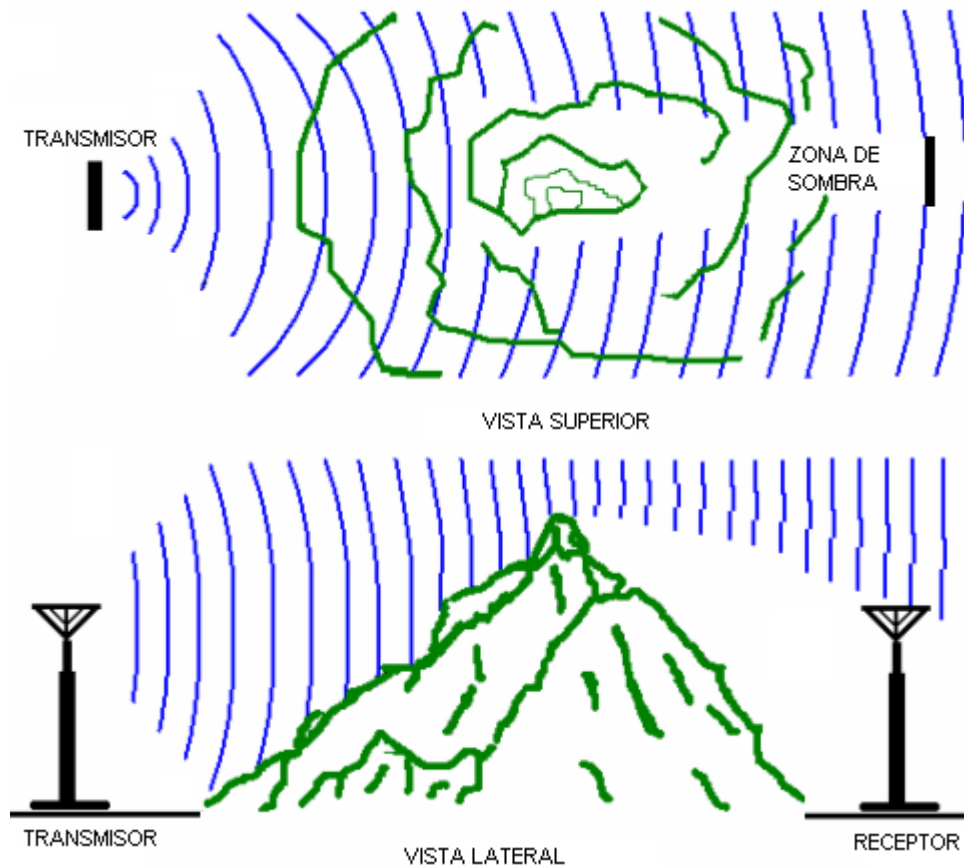


Figura 1.8. Vista del Fenómeno de Difracción.

## 1.4 Telemetría

Es la modalidad de captar una medida, emitir el resultado a una estación lejana, y allí registrar o procesar el valor de la medida [15]. La telemetría esta actualmente muy asociada al lanzamiento de satélites y cohetes espaciales, aunque tiene muchas otras aplicaciones en sistemas de seguridad, campos petroleros y llamadas a centros de emergencia por nombrar solamente algunas de las ilimitadas aplicaciones que tiene esta área.

A menudo, cuando se establece un control remoto de una estación de radio, se precisa de un enlace o canal de telemetría para supervisar algunas condiciones de la estación remota, cuando se envía una señal de telemando, la telemetría proporciona la información necesaria para conocer si la orden correctora ha obrado en efecto y se han obtenido los resultados deseados.

### 1.4.1 Telemetría vía Radio

La telemetría vía radio consiste en realizar mediciones de datos, señales, estados etc, de un sistema de telecontrol desde un lugar remoto y transmitirlos a un receptor utilizando ciertos márgenes dentro de la banda *VHF* o de *UHF*, y algunas veces debido a la congestión del espectro y a las necesidades del ancho de banda, los enlaces operan en la región de las microondas.

Las bandas que se utilizan dependen de la forma como este distribuido el espectro en cada país, para el caso de este proyecto en particular la banda que se utilizó fue la de *UHF* que va desde los 300MHz a los 3000MHz [20], ya que la frecuencia de operación a la que trabajan las estaciones del Observatorio de Popayán es en promedio de 434MHz.

Al utilizar la banda de *UHF* se esta garantizando que el flujo de los datos en la transmisión sea continuo y en “tiempo real”, lo que quiere decir que estos

datos pueden ser adquiridos instantáneamente aun de locaciones remotas en las cuales es imposible el uso de cables como medio de transmisión, además se garantiza que el costo de operatividad sea bajo. Una desventaja que presenta este tipo de enlace son las distancias que puede cubrir (<200Km), pero en este proyecto esto no generó inconveniente.

## 1.5 Modulación

La modulación es el proceso de colocar información como voz, datos o video en una onda portadora con la finalidad de posibilitar el transporte de esta información a través de un canal de comunicación y recuperar la señal en su forma original en la otra extremidad [11,29]; según la definición de la *IEEE* (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, Institute of Electrical and Electronics Engineers), la modulación es el proceso donde ciertas características de una onda, que comúnmente es llamada portadora son variadas o seleccionadas en acorde con una función de modulación, teniendo en cuenta esta definición se puede decir que generalmente son utilizados tres tipos de modulación analógica, que son la modulación en frecuencia, en amplitud y en fase.

Para el caso de este trabajo en particular también se hará mención a otra modulación que es la *ASK* (Modulación por desplazamiento de amplitud, *Amplitude Switch Keying*), que es un tipo de modulación digital que utiliza uno de los híbridos de radiofrecuencia que se usó para realizar la adquisición de algunas señales [29].

En un sentido matemático, modulación es el producto de dos señales de diferentes frecuencias así:

$$\text{Modulación} = \text{portadora} \times \text{moduladora} \quad (2.1)$$

Donde la señal moduladora es la información, o en otras palabras el mensaje que se desea transmitir.

$$x_c(t) = A_c \cdot \text{Cos}(w_c t + \phi) \quad (\text{Ecuación de una onda portadora}) \quad (2.2)$$

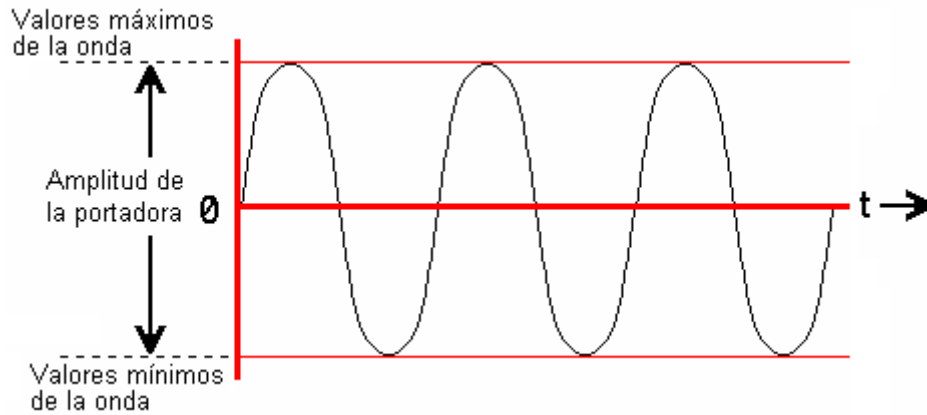


Figura 1.9. Representación de una onda portadora.

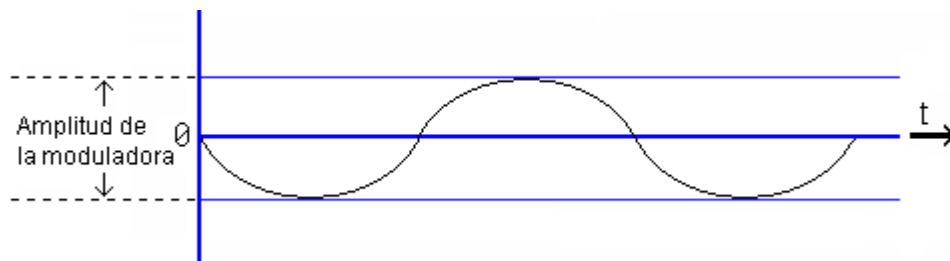


Figura 1.10. Representación de una onda moduladora.

### 1.5.1 Modulación en Frecuencia

La modulación en frecuencia FM, es el proceso de codificar información la cual puede estar en forma digital o analógica, en una onda senoide que se llamará onda portadora mediante la variación de su frecuencia instantánea de acuerdo con la señal de entrada. Se varía la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información.



La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora. La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente, según la onda moduladora, esto es, si aplicamos una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central, que es la portadora.

Onda Portadora  $x_{c(t)} = A_c \cdot \text{Cos}(w_c t + \phi)$  (2.3)

Onda Moduladora  $x_{c(t)} = A_m \cdot \text{Cos}(w_m t + \phi)$  (2.4)

Señal modulada  $x_c(t) = A_c \text{Cos}\left(w_c t + \frac{K_f \cdot A_m}{W_m} \cdot \text{Sen} w_m t\right)$  (2.5)

Se tiene entonces que a mayor amplitud de la onda moduladora, aumenta la frecuencia de la portadora, cuando la onda moduladora pasa por cero, mantiene la frecuencia original de la onda portadora. Teniendo en cuenta la norma internacional [6], se requiere que el corrimiento de frecuencia entre el mínimo y el máximo espacio, mas conocido como desviación de frecuencia sea solamente de 5KHz ósea  $\Delta f = 5\text{KHz}$ .

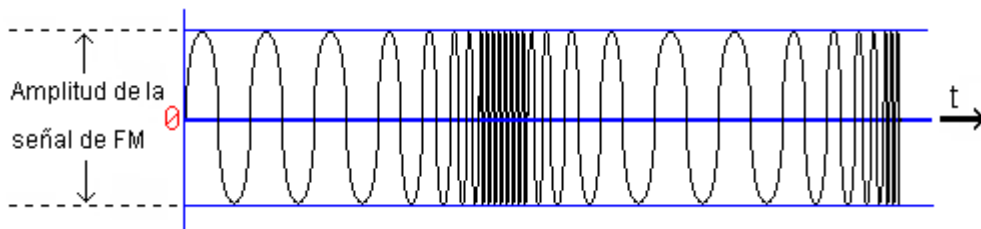


Figura 1.11. Representación de una onda modulada en frecuencia.

### 1.5.2 Modulación en Amplitud

La modulación en amplitud consiste en variar la amplitud de una onda sinusoidal de acuerdo a un mensaje o señal que se desea transmitir, esta onda sinusoidal es llamada portadora ya que es la encargada de llevar la

información sobre si, representando matemáticamente lo anterior se tiene lo siguiente:

Sea  $x(t)$ , la señal que se desea transmitir y  $x_c(t) = A_c \cos w_c t$  la portadora, se tiene que la señal modulada en amplitud (AM), se debe expresar como:

$$x_{AM}(t) = A_c(1 + mx(t))\cos w_c t \quad (2.6)$$

Donde  $m$  es el índice de modulación que se encuentra entre 0 y 1, cuando este supera el valor de 1 nos indica que se ha presentado un cambio de fase que como consecuencia directa haría perder el parecido entre la envolvente y el mensaje.

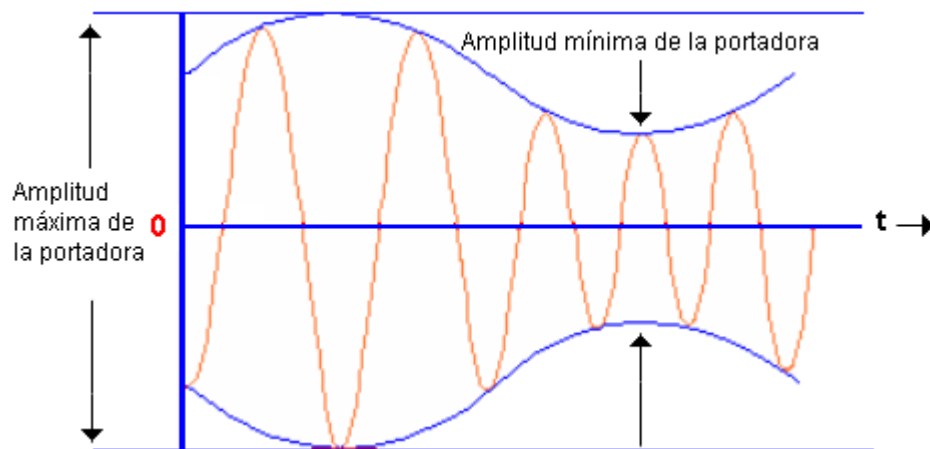


Figura 1.12. Representación de una onda modulada en amplitud.

Cuando se sabe que el mensaje toma valores extremos +1 y -1 en algún instante de tiempo, este índice de modulación puede calcularse observando los máximos y los mínimos de la señal modulada así:

$$x_{AM}(t)_{Max} = A_c(1 + m) \quad (2.7)$$

$$x_{AM}(t)_{Min} = A_c(1 - m) \quad (2.8)$$

Sumando estas ecuaciones se tiene:

$$x_{AM}(t)Max + x_{AM}(t)Min = 2A_c \quad (2.9)$$

Y restándolas,

$$x_{AM}(t)Max - x_{AM}(t)Min = 2mA_c \quad (2.10)$$

Con estos resultados se puede obtener el índice de modulación  $m$ .

$$m = \frac{x_{AM}(t)Max - x_{AM}(t)Min}{x_{AM}(t)Max + x_{AM}(t)Min} \quad (2.11)$$

En la práctica la modulación en amplitud presenta dos inconvenientes el primero de ellos es que no siempre es posible hacer la transmisión de la información con una buena calidad, esto es debido a que el ancho de banda en las emisiones esta limitado [28], y segundo en la parte de recepción se dificulta eliminar las interferencias que se producen por descargas de tipo atmosférico.

### 1.5.3 Modulación en Fase

La modulación en fase se define como la modulación angular en la cual la desviación de fase instantánea  $\theta(t)$ , es proporcional al voltaje de la señal modulante, en otras palabras la modulación en fase se produce variando la fase instantánea de la portadora a una velocidad proporcional a la frecuencia de modulación y una cantidad que es proporcional a la amplitud instantánea de la señal moduladora, se debe tener presente que en esta modulación la

amplitud de la portadora es constante y además inalterable, matemáticamente se tendría lo siguiente.

La señal moduladora tiene la forma

$$X_M = A_M \cdot \text{Sen}w_M t \quad (2.12)$$

La expresión para la onda portadora sería:

$$y_c(t) = A_c \cdot \text{Cos}(w_c t + \phi) = A_c \cdot \text{Cos}\theta \quad (2.13)$$

Ahora si al ángulo  $\phi$  se le suma un ángulo que sea proporcional a la señal modulante, entonces se estaría modulando en fase.

$$y_c(t) = A_c [\text{Cos}(w_c t + \phi + KA_M \cdot \text{Sen}w_M t)] \quad (2.14)$$

Si se elige correctamente el tiempo se puede hacer  $\phi=0$ , y definiendo el índice de modulación como  $M_\phi = KA_M$  la expresión general para este tipo de modulación quedaría expresada como.

$$y_{PM}(t) = A_c \cdot \text{Cos}(w_c t + M_\phi \cdot \text{Sen}w_M t) \quad (2.15)$$

#### **1.5.4 Modulación ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud, Amplitude Switch Keying)**

Es una forma de Amplitud Modulada donde la información a transmitir es digital y por eso la amplitud de la portadora es cambiada de forma, entre ciertos valores prefijados. Cuando los posibles valores de amplitud son sólo dos debería usarse el acrónimo B-ASK (*Binaria-ASK, Binary-ASK*), esto se

puede ver en la figura 1.14 que es la señal B-ASK de la señal modulante binaria de la figura 1.13.

Para aplicaciones de corto alcance sólo suele usarse ASK. Una señal de B-ASK esta definida por:

$$S(t) = A \cdot m(t) \cdot \text{Cos}(2\Pi \cdot f_c \cdot t) \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.16)$$

Donde,

A es una constante,  $m(t)$  vale 0 o 1,  $f_c$  es un llevador de frecuencia, y T es la duración del bit.

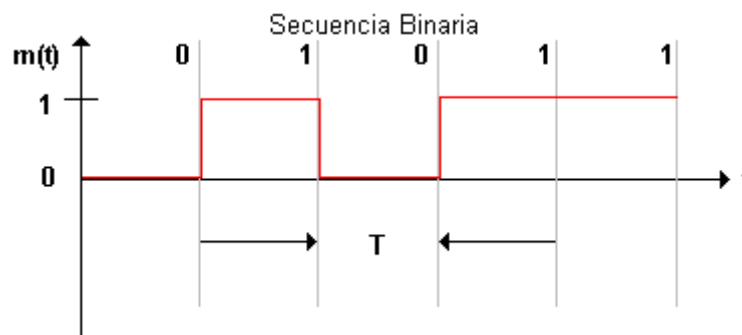


Figura 1.13. Señal moduladora binaria

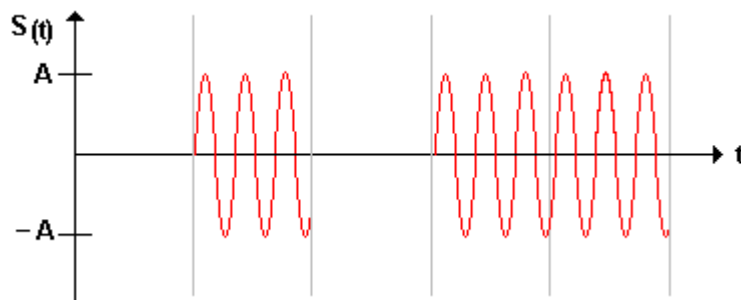


Figura 1.14. Señal B-ASK

## **1.6 Perturbaciones que afectan la señal**

El objetivo de la transmisión y la recepción de la señal es enviar y recibir datos o mensajes procurando que lleguen de la forma más nítida y clara, pero durante estos procesos se presentan ciertos efectos negativos. La incidencia sobre la señal original es tal que se llegan a producir tantas interferencias, que desvirtúan los datos o el mensaje e incluso llegando a conseguir su total o parcial anulación.

Teniendo en cuenta los componentes de los circuitos de comunicaciones y la forma en que se establece el flujo de información, cualquier perturbación de la señal se considera un ruido y en ocasiones es bastante difícil saber distinguir entre los varios efectos que pueden contaminar la señal. Analizando esto se tiene que son tres los efectos básicos que actúan en forma negativa sobre la señal original, estos efectos son: la distorsión, la interferencia y el ruido.

### **1.6.1 Distorsión**

Se llama distorsión a la alteración de la señal producida por una respuesta imperfecta del sistema de transmisión a la señal que se quiere enviar y, a diferencia de los dos efectos como la interferencia y el ruido, desaparece cuando desaparece la señal.

### **1.6.2 Interferencia**

La calidad del funcionamiento del sistema de comunicaciones, está afectada por interferencias que contaminan la señal recibida con señales procedentes otros sistemas.

Eliminar las interferencias que contaminan y disminuyen la calidad de la información, es teóricamente posible, pero a veces no es ni recomendable, ni práctico, por las consecuencias negativas que pueden llegar a producirse.

Las interferencias pueden ser clasificadas en simples o múltiples, en función del número de fuentes que las originen. La relación entre la portadora y la interferencia proporciona la calidad y potencia de la señal que se desea recibir.

### **1.6.3 Ruido**

El ruido es considerado como la información no deseada que se obtiene cuando se realiza una transmisión, debido a esto en los sistemas de comunicación es necesario tener una relación señal ruido alta para poder demodular de una forma correcta la señal transmitida [11,28].

En un sistema de radiocomunicación, la señal llega al receptor después de viajar grandes distancias por el espacio libre, como consecuencia de esto, esta presenta una gran atenuación que es generada por muchas causas, entre ellas los fenómenos físicos que fueron descritos en el primer capítulo, por esta razón se hace necesario considerar alternativas de solución a este problema, debido a que señales que se encuentran muy atenuadas no presentan la calidad adecuada para hacer un buen tratamiento de la información, por esto es importante conocer que el tratar de amplificar la señal no brinda una buena solución al problema, debido a que aunque aumenta el nivel de la señal también aumenta el nivel de ruido que viene con la señal [24], y además aumenta más ruido en las etapas adicionales que se implementen.

Realizar una mejora al nivel de la señal recibida significa aumentar la potencia de transmisión, o la ganancia de las antenas, pero además la relación señal ruido también se puede mejorar si se utilizan amplificadores de

*RF* y mezcladores de muy bajo ruido [6,9], lamentablemente estos dispositivos electrónicos no son muy comerciales en Colombia y presentan un costo de adquisición alto, por esta razón es conveniente analizar que también se pueden utilizar modulaciones que presenten una mayor inmunidad al ruido, o en otras palabras que sean mas robustas frente al ruido, además se deben analizar las clases y causas de ruido, y su comportamiento en los sistemas de comunicaciones.

### **1.6.3.1 Ruido Térmico**

El ruido aleatorio en los elementos pasivos es denominado ruido térmico, debido a que este se encuentra enteramente asociado a la temperatura absoluta, el ruido térmico es una especie de ruido blanco generado por el movimiento de los electrones libres en un medio conductor [14], uno de los casos mas característicos de ruido térmico es aquel generado por los resistores metálicos.

Las fluctuaciones en los electrones en función de la agitación térmica, presentan un movimiento aleatorio, generando así una potencia de ruido pequeña básica, los electrones como un todo no presentan dirección de desplazamiento preferencial, sin embargo si se observa en intervalos de tiempo pequeños se puede notar una pequeña fuerza resultante de desplazamiento de estos electrones, que produce una corriente eléctrica instantánea que a pesar de ser muy pequeña, presenta variaciones, básicamente el ruido térmico es un caso típico del ruido blanco, debido a que contiene prácticamente todas las componentes del espectro.



### **1.6.3.2 Ruido Interno al sistema de recepción**

Este tipo de ruido es considerado para sistemas que trabajan a frecuencias superiores a los 300MHz [9] como es el caso de este trabajo, es generado debido a pérdidas en el circuito de la antena, a la línea de transmisión o a las características del equipo receptor, este ruido es de distribución Gaussiana y el efecto que produce en el sistema de comunicación puede ser matemáticamente determinado o en su defecto predecible.

### **1.6.3.3 Ruido externo al sistema de recepción**

Este tipo de ruido es el que es producido por fuentes naturales como fuentes atmosféricas o solares, además también puede ser producido por precipitaciones, nieve, polvo, el ruido celeste y el industrial.

## **1.7 Desvanecimiento**

Al igual que el ruido, el desvanecimiento o fading es una variable importante cuando se realiza un radioenlace, básicamente este consiste en una irregularidad cíclica presentada en la intensidad de la señal que es captada por el equipo receptor, esta irregularidad es debida a fenómenos como el de reflexión, refracción, y difracción, y consiste en el reforzamiento y debilitamiento de las señales causada por cambios en la intensidad de campo instantánea.

Este fenómeno reviste importancia únicamente cuando el trayecto del radioenlace es superior a los cinco kilómetros de distancia. Básicamente se analizan dos tipos de desvanecimiento que son en los que los estudios teóricos centran más su atención, estos dos tipos son el desvanecimiento por multitrayectoria y el desvanecimiento de potencia que serán descritos a continuación.

### **1.7.1 Desvanecimiento por Multitrayectoria**

Este tipo de desvanecimiento es causado por la presencia de muchas señales que arriban a un punto de recepción, donde cada una de estas señales sigue una trayectoria distinta, este fenómeno causa cambios rápidos en la potencia de la señal en un pequeño intervalo de tiempo, modulación aleatoria de frecuencia causada por la variación de los cambios de Doppler en diferentes señales multitrayectoria, y dispersión en tiempo causada por los retardos en la propagación, entre otros cambios que puede causar. Es importante conocer que este tipo de desvanecimiento presenta selectividad en la frecuencia, lo que quiere decir que el efecto de desvanecimiento va a ser diferente en las distintas frecuencias, de este modo es evidente que el desvanecimiento va a tomar un valor crítico para un cierto valor de frecuencia.

La duración de este desvanecimiento puede ser de horas, y en algunos casos días, debido a esto se debe tener en cuenta un margen de desvanecimiento cuando se realiza un radioenlace, este valor por lo general se calcula teniendo en cuenta el tiempo de disponibilidad que se requiere que tenga el sistema, o en algunos casos el tiempo de indisponibilidad.

### **1.7.2 Desvanecimiento de potencia o atenuación**

Se presenta por alteraciones sobre el rayo principal o directo de la señal en su trayectoria directa con respecto a la antena de recepción. Esta alteración puede producirse principalmente por factores como: la intrusión de la superficie terrestre o de las capas altas de la atmósfera en el trayecto directo de la señal, el desacople de la antena receptora, debido a la variación del índice refractivo, reflexiones sobre las capas atmosféricas elevadas, al posicionamiento de una de las antenas en una formación de ductos y a precipitaciones intensas en el trayecto.

## 1.8 Señales Sísmicas

La señal irradiada de una fuente sísmica, es producida generalmente por explosiones o fracturamientos de roca en respuesta a la actividad volcánica, esta señal es representada por una función de desplazamiento o velocidad de duración finita que va desde milisegundos hasta unos pocos minutos como máximo [5,30], estas señales pueden ser expresadas tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia según sea mas conveniente, para realizar esta transformación se utiliza el teorema de Fourier [4] que expresa que una función  $f(t)$  en el dominio del tiempo puede ser representada por una función equivalente  $F(w)$  en el dominio de la frecuencia. La transformada de Fourier de  $f(t)$ , esta descrita por las siguientes relaciones.

$$f(t) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} F(w) \exp(iwt) dw \quad (3.1)$$

y,

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-iwt) dt = |f(w)| \exp(i\phi(w)) \quad (3.2)$$

Donde,

$|f(w)| = A(w)$  es la amplitud de la densidad espectral que esta expresada en m/Hz,  $w = 2\pi f$  es la frecuencia angular expresada en Hz y  $\phi(w)$  es la fase expresada en unidades de grados, radianes o  $2\pi$  radianes.

La integral en la ecuación (3.1) es una simple suma, así el teorema de Fourier indica que una serie arbitraria finita en el dominio del tiempo puede ser expresada como una suma monocromática de funciones periódicas [4] como se muestra a continuación.

$$f(t) = (2\pi)^{-1} \sum |F(w)| \exp(i[wt + \phi(w)]\Delta w) \quad (3.3)$$

Las magnitudes de eventos sísmicos determinadas por lecturas de amplitud y periodo de fases sísmicas, tienen validez solamente cuando determinados sismos registrados análogamente tienen respuesta en frecuencia idéntica al estándar o los registrados digitalmente son filtrados apropiadamente [25].

## 1.9 Ondas Sísmicas

El movimiento sísmico se transmite a través de ondas elásticas longitudinales y transversales que son llamadas ondas sísmicas. Se pueden identificar tres tipos de estas ondas que son las ondas P, S y las superficiales las cuales serán descritas con detalle posteriormente, estas ondas son muy importantes debido a que con el análisis de ellas en los sismogramas mediante paquetes computacionales como *seisan*, *seislog* o *PSW*, se logra extraer información acerca de un evento sísmico ocurrido como la localización, su magnitud, valor de coda, etc., [25,30].

### 1.9.1 Ondas P

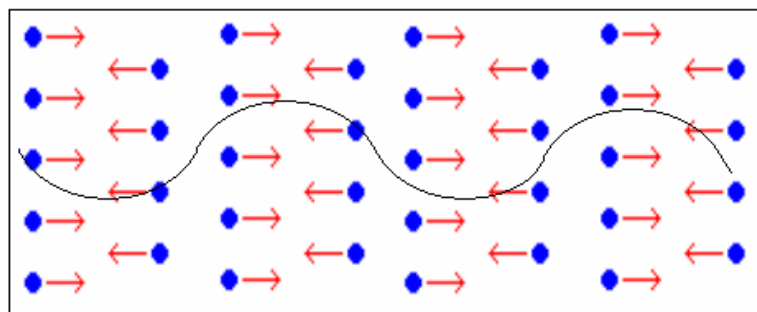


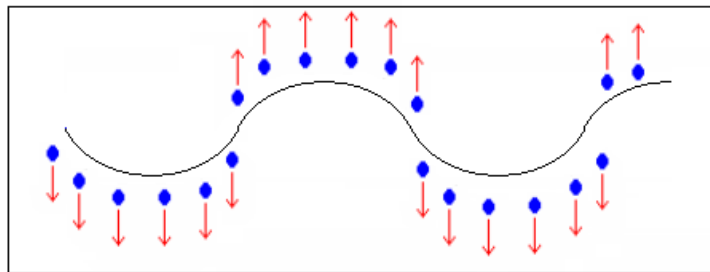
Figura 1.15. Movimiento de las ondas tipo P

Son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, y como efecto producen compresiones y

dilataciones en este medio, su velocidad es grande puesto que son las ondas sísmicas que presentan una mayor velocidad que esta alrededor de 5 Km/s en rocas graníticas que se encuentre cercanas a la superficie y además alcanzan velocidades de 11Km/s en el interior de la tierra, debido a estas velocidades es claro que son las primeras en llegar, ósea las primeras que se aprecian en los sismogramas, por esta razón es que son conocidas como ondas primarias u ondas P (push) que en ingles significa empujar.

Estas ondas son capaces de viajar a través de líquidos y transmitirse a través de la atmósfera, por lo que a menudo son percibidas por personas como un sonido grave.

### 1.9.2 Ondas S



**Figura 1.16. Movimiento de las ondas tipo S**

Estas ondas son también conocidas como ondas de cizalla, básicamente son ondas en las cuales las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, debido a esto generalmente son asociadas con deformaciones del terreno de tipo cizalla, estas son ondas que viajan a velocidades menores que las ondas P, pero a pesar de esto se ha comprobado que en una serie de medios alcanzan velocidades similares, como estas ondas son las segundas en llegar son conocidas como secundarias, estas ondas no pueden propagarse en líquidos ni gases debido a que estos no pueden soportar esfuerzos cortantes.

### **1.9.3 Ondas Superficiales**

Estas ondas son llamadas así debido a que su propagación se realiza por las capas más superficiales de la tierra, y su amplitud decrece a, medida que aumenta la profundidad, cuando estas ondas son generadas por un sismo se pueden clasificar en dos grupos que son: ondas Love y ondas Rayleigh [30] denominadas así en honor a los científicos que demostraron su existencia teóricamente, las ondas Love se originan en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes, estas ondas expanden las rocas de forma similar como lo hacen las ondas S, en este caso el movimiento es perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación, pero solo ocurre en el plano de la superficie terrestre. Las ondas Rayleigh se forman en la superficie de la tierra y presentan un movimiento vertical similar al de las olas del mar por lo que fácilmente pueden afectar cuerpos de agua. De los dos tipos de ondas superficiales las más veloces son las ondas Love, esto es importante tenerlo en cuenta a la hora de caracterizar un espectrograma [25].

### **1.10 Clasificación de Señales Sísmicas**

Existen muchas formas de clasificaciones de eventos sísmicos, entre las mas conocidas y utilizadas se encuentran las de Latter, Malone, y Minakami [16, 18,21], entre otras.

Para el caso específico del Observatorio Vulcanológico de Popayán se tiene en cuenta para la clasificación de estos eventos, los procesos de origen involucrados en la generación de la señal además de la similitud en su forma de onda. Los tipos en que se encuentra clasificada la sismicidad del volcán Puracé son básicamente los sismos volcano-tectónicos (VT), eventos de largo periodo (LP) y el tremor volcánico[5]. Es importante considerar que uno de los propósitos fundamentales para el estudio de sismología volcánica es

el de conocer los patrones de actividad sísmica, para con estos tratar de cuantificar la probabilidad de una erupción. A continuación se hará mención de algunas de las formas de clasificación de eventos propuestas por los autores mencionados anteriormente, así como un tipo de clasificación especial dada para el volcán Puracé que es de interés para este trabajo.

### **1.10.1 Clasificación de Minakami**

Este es un tipo de clasificación que se fundamenta en la ubicación de los focos sísmicos y en la naturaleza del origen de los sismos, en ella se diferencian cinco tipos de eventos volcánicos, entre los que se encuentran los sismos volcánicos tipo A, B y C, los sismos explosivos y el temblor volcánico, cada uno de estos tipos de sismos presentan propiedades características que permiten su fácil identificación. Por ejemplo los sismos tipo A tienen la apariencia de un evento tectónico normal, y presentan frecuencias dominantes de 3Hz, además presentan un claro arribo de las ondas y fases P y S bien definidas, la profundidad de este tipo de sismos está entre 1 y 20 Km por debajo del cráter activo, teniendo en cuenta el tipo de estructura volcánica donde se presente.

Por otra parte los sismos tipo B son emergentes y se caracterizan por tener ondas S poco diferenciables y una frecuencia de onda dominante baja, es decir inferior a los 3Hz, este tipo de evento se presenta en forma múltiple con una magnitud que generalmente es extremadamente pequeña, los sismos tipo C, presentan características muy similares a las de los sismos tipo B descritos anteriormente, la diferencia radica en que en los tipo C se reconocen diferentes fases dentro de una secuencia simple, este comportamiento ha sido estudiado en algunos volcanes y se correlaciona con crecimiento de domos laváticos.

Por último tenemos los sismos explosivos y el tremor volcánico, los sismos explosivos son eventos muy parecidos a los tipo B, pero presentan una mayor magnitud y están acompañados de erupciones de conductos del cráter activo, esto se ha podido observar en los volcanes de Asama y Oo Sima en Japón, el tremor volcánico básicamente es un disturbio continuo que esta conformado por eventos tipo B que se extienden continuamente durante muchos segundos, por lo general mas de 10, su conformación principal es debida a ondas superficiales.

### **1.10.2 Clasificación de Latter**

Latter, encontró algunas objeciones a la anterior clasificación, entre las que se encuentran:

- Los sismos tipo A y tipo B se presentan también a profundidades menores a 1 kilómetro
- Es posible encontrar eventos tipo B en conductos volcánicos visiblemente no activos.
- En muchos casos no es posible corroborar la presencia de eventos explosivos asociados a erupciones volcánicas.
- Pueden presentarse episodios de tremor discontinuos y son mezcla de frecuencias.

Por estas causas Latter propuso otra clasificación que incluye el ruido superficial que puede interferir en las zonas montañosas y sismos no volcánicos, como el producido por interferencias de vehículos, pasos, helicópteros, lluvia, viento, animales, caída de roca etc., en esta clasificación aparecen eventos volcánicos, volcano tectonicos y sismos tectónicos con sus principales características como se enuncia a continuación.



Los eventos volcánicos son sismos emergentes que usualmente presentan múltiples fases pobremente definidas al igual que los sismos tectónicos, estos pueden ser de baja frecuencia (menores a 2Hz), mediana frecuencia (entre 2Hz y 3Hz), y alta frecuencia (mayores a 3Hz), así como de banda angosta (menores de 1.5Hz), caracterizados por flujo de magma o banda de ancha (1.5Hz a 2Hz) a menudo acompañados de erupciones, por otra parte los sismos volcano tectónicos, son eventos con frecuencias superiores a los 3Hz, exceptuando los sismos que son atenuados a lo largo de la trayectoria, los epicentros de estos eventos son arbitrarios y dependen del tamaño del conducto volcánico y finalmente se tienen los sismos tectónicos, estos presentan epicentros a distancias mayores a 10 Km del volcán, distancia que esta condicionada a la dimensión del conducto volcánico y que clasifica a los sismos de este tipo como cercanos, regionales o telesismos cuyas características se mencionan a continuación.

Sismos cercanos: a distancias menores o iguales a 80 Km y una diferencia de la ondas S y P menores o iguales a 10 s, de acuerdo a su origen hipocentral estos pueden ser de:

Corteza Superior: profundidad menor o igual a 12 Km.

Corteza Inferior: profundidad mayor a 12 Km y menor o igual a 33 Km.

Subcortical: profundidad mayor a 33 Km.

Sismos Regionales: se presentan a distancias entre 80 Km y 300 Km, se clasifican igual que en los tres tipos del numeral anterior en cuanto a profundidad.

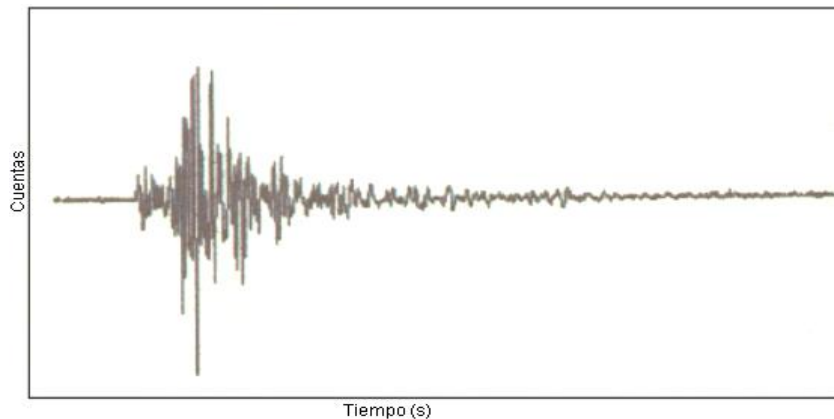
Telesismos: se presentan a una distancia mayor a los 300 Km y a profundidades corticales y subcorticales.

### 1.10.3 Clasificación de la sismicidad en el Volcán Puracé

La sismicidad del volcán Puracé se clasifica en: sismos volcano tectonicos, eventos de largo periodo y tremor volcánico [5], tener en cuenta esta clasificación es de gran importancia, debido a que esta es un área de monitoreo de la actividad volcánica que lleva a cabo el Observatorio de Popayán de la cual se recogen sismogramas como los de las figuras 1.17, 1.18 y 1.19 .en los que se logra identificar el arribo de ciertas ondas dependiendo el tipo de evento que lo produce.

#### 1.10.3.1 Sismos Volcano Tectónicos (VT)

Estos eventos son conocidos como de alta frecuencia [18], y tipo A [21], cuando ocurren debajo del edificio volcánico o en las proximidades de él, se interpretan como fracturamientos de roca que se presenta en respuesta a la actividad volcánica tal como presiones generadas por la presencia o movimientos de fluidos en los conductos o a cambios de esfuerzos asociados con dichas presiones bajo el volcán [16].



**Figura 1.17. Registro de un evento Volcano Tectónico**

Los sismogramas de eventos VT en el volcán Purace se caracterizan por tener un claro arribo impulsivo de las ondas P, así como ondas S claramente

identificables (figura 1.17), en sus espectros se puede identificar un contenido frecuencial que va desde 1 a 16 Hz con una mayor concentración de la energía entre 3 y 14 Hz. Los intervalos S-P de los eventos VT del volcán Puracé oscilan en el rango de 1-3 segundos máximos leídos en la estación de referencia CURV, en general las profundidades hipocentrales varían en un rango de 0 a 14 kilómetros, y las magnitudes entre -0.4 y 2.3.

### 1.10.3.2 Eventos de Largo Periodo (LP)

Estos eventos son llamados también de baja frecuencia por algunos autores, son atribuidos a la actividad de los fluidos dentro de los conductos volcánicos, esta actividad se debe a un efecto de resonancia inducida por exceso de presión en el fluido y asociado a diferentes orígenes.

Los sismogramas de eventos LP en el volcán Puracé se caracterizan por tener en la mayoría de los casos, un arribo emergente de las ondas P, y una onda S no diferenciable (figura 1.18), se han definido tres subfuentes las cuales muestran contenido espectrales cuyos picos dominantes están comprendidos en rangos entre 2.3-3.7, 4.3-6.8, 8.1-10.1 Hz respectivamente, se debe anotar que las subfuentes 2 y 3 están representadas por eventos tipo tornillo. Las magnitudes de estos eventos oscilan entre 0.5 y 1.8 Hz

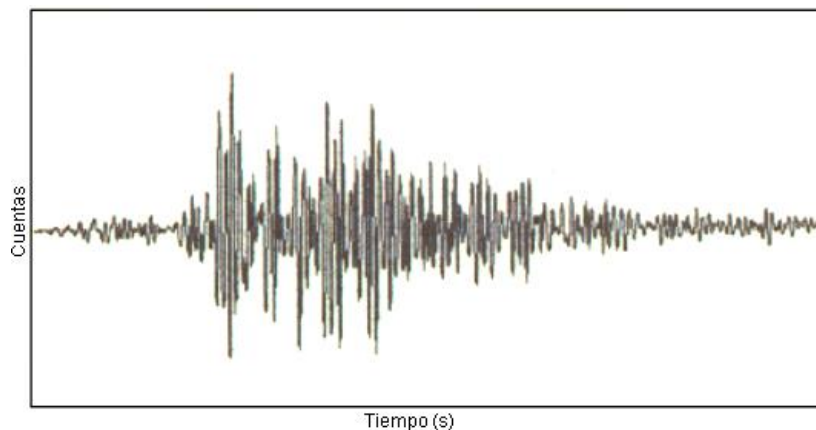
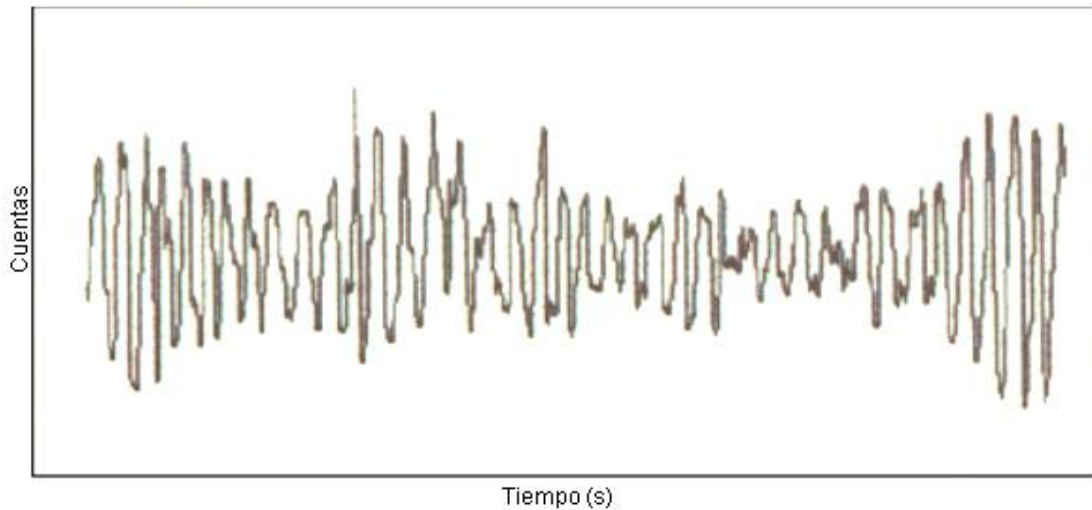


Figura 1.18 Registro de un evento de Largo Periodo

### 1.10.3.3 Tremor Volcánico (TR)

El origen de estos eventos es similar al origen de los eventos de largo periodo (LP), pero esta señal es continua y estable en amplitud y frecuencia, los eventos LP y el tremor son consideradas señales hermanas en donde el tremor podría considerarse como una secuencia de eventos LP que ocurren en un periodo de tiempo.

En el volcán Puracé no ha sido muy clara la ocurrencia de este tipo de señales, pero se ha registrado una señal típica de tremor volcánico en una sola estación en repetidas ocasiones desde el inicio de su monitoreo, con una frecuencia dominante de 2.2 Hz, de carácter monocromático y con una duración aproximada de cinco segundos.



**Figura 1.19. Registro de un Tremor Volcánico**

## **2 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL OBSERVATORIO SISMOLÓGICO DE POPAYÁN**

La parte experimental de este trabajo comienza con el conocimiento del Sistema de Telemetría del Observatorio de Popayán, debido a que sobre este sistema se trabajó en el acople de una pareja de radios prototipo (transmisor-receptor). Para comprender el funcionamiento de este sistema el procedimiento que se siguió fue dividirlo en cada uno de sus componentes y analizarlos individualmente, para esto se contaba físicamente con los dispositivos que conformaban el sistema y sus manuales de operación, como resultado de este procedimiento se logró realizar la descripción de cada uno de sus componentes y la función que cumplen dentro del sistema.

Por esta razón la mayor parte de este trabajo se ejecutó en las instalaciones del Observatorio, lugar donde se realizaron actividades como el reconocimiento del sistema, la construcción y montaje de los radios prototipo, las pruebas preliminares y finales a los mismos, entre otras.

### **2.1 Sistema de Telemetría del Observatorio de Popayán**

El sistema de telemetría con que cuenta el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán esta básicamente compuesto por sensores, VCO's, discriminadores, radios transmisores y receptores, antenas transmisoras y receptoras y registradores que operando en conjunto son los encargados del monitoreo de sismicidad que adelanta el Observatorio.

### 2.1.1 Sensores (Geófono)

El sismómetro o geófono es el principal elemento sismológico, por cuanto detecta las vibraciones del suelo y las traduce en una señal que pueda registrarse.

Estos sensores utilizan el principio de la inercia o medida de movimiento relativo entre una masa libre (la cual tiende a permanecer en reposo), y la armadura rígida (la cual se mueve con el suelo). Estos movimientos relativos son transformados en impulsos eléctricos, amplificados y transmitidos hacia el registrador. El sensor utilizado por Ingeominas es el geófono MARK L-4C, este capta las ondas producidas por volcanes o por movimientos de las placas tectónicas y las convierte a señales eléctricas generando un voltaje proporcional a la diferencia de velocidades ( $\dot{x} - \dot{x}_g$ ) entre la masa de prueba y su coraza [8], el voltaje es generado en una bobina almacenadora que se encuentra sobre la masa de prueba cuando un imán permanente unido a la coraza se mueve. El sistema de suspensión consiste de una masa de prueba de 1 Kg suspendida sobre resortes blandos con una frecuencia natural que se encuentra alrededor de 1 Hz y una resistencia de 5530 Ohms a una temperatura de 68 F, una foto se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1. Imagen del Geófono Mark L-4C de tres componentes

### 2.1.2 VCO (Oscilador Controlado por Voltaje, Voltage Controlled Oscillators)

Los VCO's utilizados por Ingeominas son los *Kinematics TH-11*, estos están encargados de convertir las señales eléctricas a variaciones de frecuencia además de filtrar, amplificar y modular en frecuencia la señal sobre la banda de voz (500Hz a 4KHz), para facilitar el multiplexaje de señales sobre un mismo canal de transmisión de radio frecuencia [12,13].

Como el nivel de salida del geofóno en general, es del orden de los milivoltios, esta señal debe amplificarse al orden de voltios para alimentar al conversor voltaje-frecuencia (VCO), de esto se encarga una tarjeta amplificadora (que hace parte del mismo VCO) que da una ganancia de 0dB a 90dB en pasos de 6dB y también se encarga de activar los filtros pasabajos desde 2.5 Hz, 5 Hz,... 50Hz.

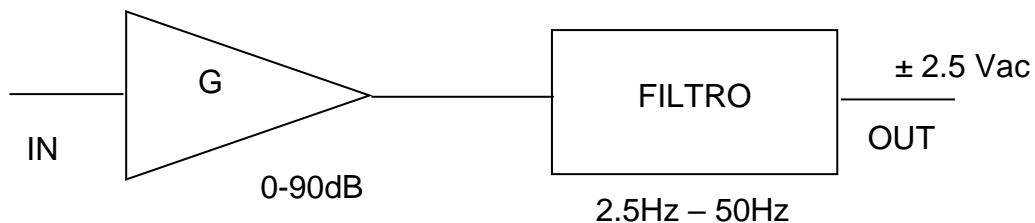


Figura 2.2. Diagrama en bloques de la etapa amplificadora del VCO

El nivel de salida máximo de la etapa de amplificación es de  $\pm 2.5$  V, que representa la variación de voltaje a la entrada del VCO.

El 0 voltios representa la frecuencia central ( $f_c$ ) del VCO de

+2.5V..... $f_c + 125$  Hz

-2.5V..... $f_c - 125$  Hz

Kinematics dispone de las siguientes frecuencias en Hertz para VCO: 680, 1020, 1360, 1700, 2040, 2380, 2720 y 3060.

### 2.1.3 Radio Transmisor

Es el elemento que da la potencia para posibilitar la transmisión de la señal sísmica a distancia. El instituto Ingeominas utiliza el transmisor fabricado por la casa Monitron, de referencia *T45F* cuyo tipo de modulación que utiliza es *FM*, en la banda de *UHF* el rango de frecuencia empleado es de 400 a 475 MHz [22], además posibilita la utilización de 3 niveles de potencia, 100mWatt, 1 Watt y 4 *Watts*, que cubren distancias de 70, 110 y 220 Km respectivamente.

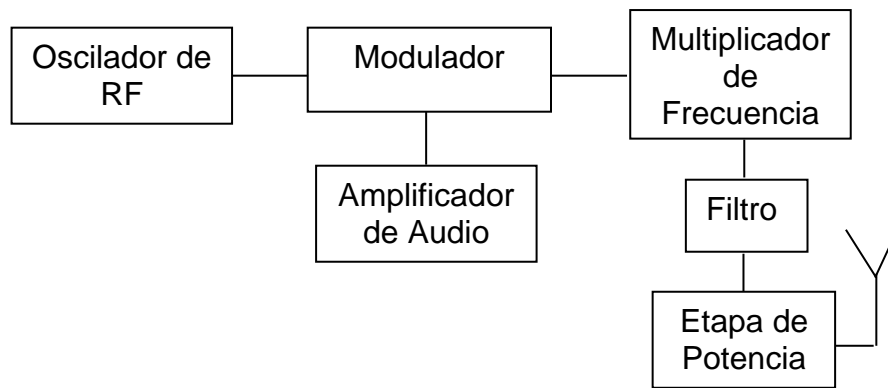


Figura 2.3. Diagrama en bloques del sistema de transmisión.

### 2.1.4 Antena

En aplicaciones de telemetría se utilizan básicamente los siguientes tipos de antenas: Yaggi, Diédrica y Motorola  $\lambda/4$ .

El instituto utiliza por lo general la antena Yaggi (marca Maxrad) que presenta características como la de tener polarización horizontal, ganancia de 11dB y un valor de SWR de 1.3, además de tener un diagrama de radiación directiva. Para transmisiones cortas se utilizan el monopolo  $\lambda/4$  de



4dB de ganancia, para lugares donde hay mucho tráfico de frecuencia se utiliza la antena diédrica de 9dB de ganancia.

Los cables para la alimentación de las antenas deben ser coaxiales de impedancia característica de 50 Ohmios, los que satisfacen estas características son el RG58, RG 223, y el RG8 [2,23]; el recomendado para este uso es el RG8 que tiene menores pérdidas y es mas durable, en lugares de bastante humedad se utiliza cables con protección metálica o guías de onda.



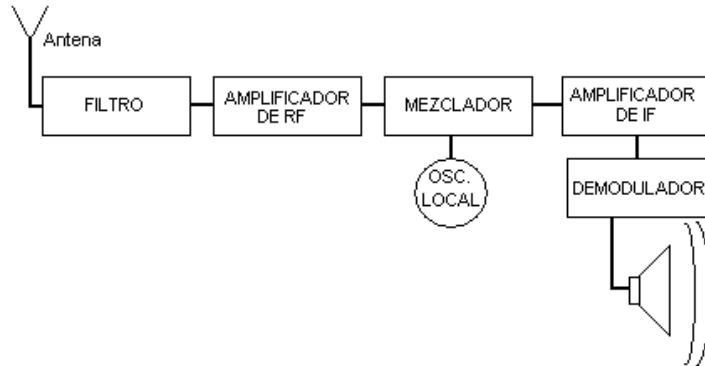
**Figura 2.4. Antena Yagi**

### **2.1.5 Radio Receptor**

Es el elemento que recibe la señal de radio frecuencia y la transforma en señal de audio la cual puede ser discriminada.

El instituto Ingeominas utiliza el receptor fabricado por la casa Monitron R45F [22], que tiene dos selectores, uno para el ajuste del Squelch y otro para el del audio, el Squelch es el nivel de sensibilidad del receptor y el audio es la amplitud de la señal de salida, los componentes de este receptor son elaborados en estado sólido, además tiene un ancho de banda angosto y modulación en *FM*, este receptor esta diseñado para proveer recepción superior de señales en la banda de *UHF* en el rango de 400 a 475 MHz.

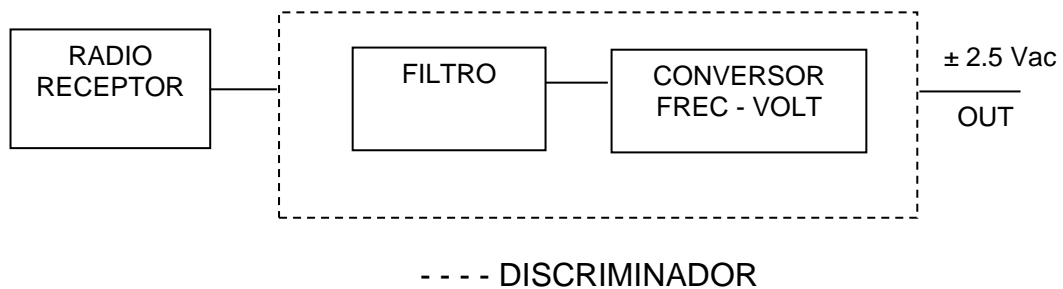
En la figura 2.5 se muestra el diagrama en bloques del sistema de recepción.



**Figura 2.5. Diagrama en bloques del sistema de recepción.**

### 2.1.6 Discriminadores

Circuito electrónico que hace el proceso contrario al VCO, es decir convierte las variaciones de frecuencia a señales eléctricas, contiene un filtro y un conversor frecuencia-voltaje, básicamente recobra la señal del geofóno amplificador [13], además consta de un ajuste para el ajuste del filtro, que es utilizado para evitar el ruido y desechar las señales que están por fuera de las frecuencias a las que trabajan los VCO en las diferentes estaciones en campo. La salida del discriminador es de  $\pm 2.5$  V máximo, señal que es la correspondiente a la salida de la tarjeta amplificadora en la estación remota.



**Figura 2.6. Diagrama en bloques de las etapas del discriminador.**

Las frecuencias de las cuales dispone el discriminador (Kinematics modelo DM-1 son las mismas que maneja el VCO: 680 Hz, 1020 Hz, 1360 Hz, 1700 Hz, 2380 Hz, 2720 Hz.  $\pm 125$  Hz de desviación.

Después de aquí la señal recuperada esta lista para pasar a los registradores de papel o al computador después de un tratamiento digital.

### 2.1.7 Registradores

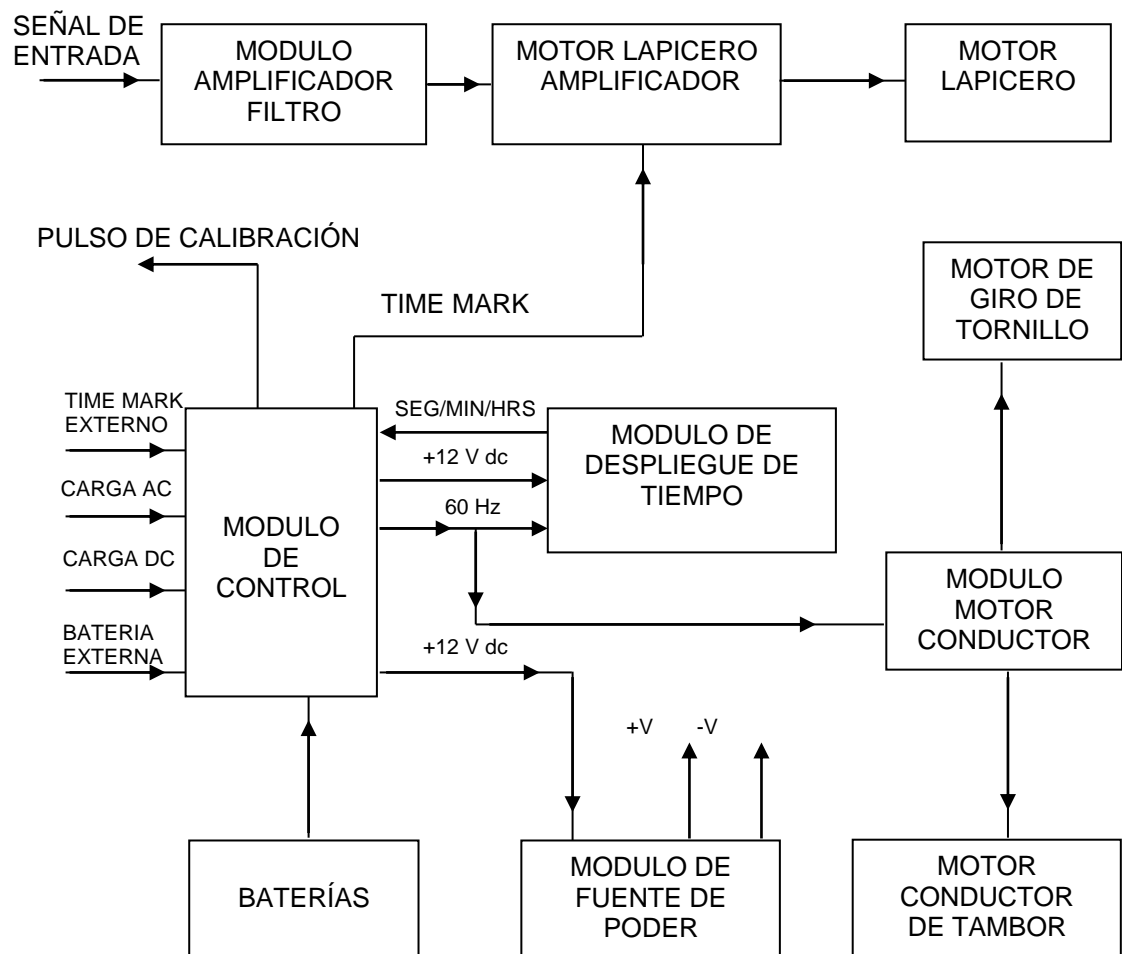


Figura 2.7. Diagrama en bloques del registrador.

Es el instrumento donde se hace palpable el registro final de las señales que son emitidas desde las estaciones sismológicas a través de todo el sistema de telemetría que ya se ha descrito anteriormente.

El centro operativo de Popayán utiliza el modelo *PS-2 de Kinematics* [13], instrumento de bajo consumo de potencia y fiable campo de operación, el cual posee una etapa de amplificación y de filtrado en un solo módulo, los datos que reciben son grabados en rollos de papel ahumado de 191 milímetros de espesor, por medio de una pluma metálica fina.

Generalmente el máximo nivel de sensibilidad del PS-2 es de 1 milímetro de deflexión por 1 microvoltio de voltaje de entrada. Un *swicth* de ganancia permite que la sensibilidad sea reducida en pasos de 6 dB por encima de 72 dB (la mínima sensibilidad de 1 milímetro de deflexión de la pluma por 4 milivoltios de voltaje de entrada), el ruido del sistema es menor que 0.7 microvoltios pico a pico referenciados a la entrada con una impedancia de 5000 Ohmios.

### **3 DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS RADIOS**

Una vez conocido el funcionamiento del Sistema de Telemetría empleado por el Observatorio Sismológico de Popayán se dio inicio a la fase de diseño y construcción de los radios prototipo. Para esto es necesario considerar los requerimientos básicos que debía cumplir esta pareja de radios (transmisor-receptor), entre estos requerimientos se destacan la banda y frecuencia de operación, la potencia del radio transmisor, y el tipo de señal con la que van a trabajar. Considerando que la frecuencia de operación de los radios debía ser superior a los 400 Megahertz, se hizo necesario abordar algunas consideraciones especiales para realizar aplicaciones con componentes de radiofrecuencia y de esta manera obtener los mejores resultados posibles.

Teniendo en cuenta el cumplimiento de estos requerimientos se llevó a cabo la etapa de implementación de los radios al sistema de telemetría, esto se hizo a través de la emulación de estaciones sismológicas a las cuales se le realizaron pruebas mediante el establecimiento de radioenlaces entre dichas estaciones y las instalaciones del Observatorio Sismológico.

#### **3.1 Consideraciones para el diseño de sistemas de *RF***

Cuando se trabaja en el desarrollo de sistemas que operan en frecuencias del orden de los cientos de Megahertz, es indispensable realizar una buena selección de los componentes con los que se piensa realizar el diseño de estos sistemas, debido a que en estas frecuencias, la utilización de componentes convencionales pueden comportarse como fuentes de ruido que afectan el desempeño de los equipos desarrollados, por ejemplo las patas de un capacitor cerámico convencional pueden hacer que en

frecuencias superiores a los 400MHz este se comporte como una inductancia, y de la misma manera, la capacidad entre espiras de un inductor puede hacer que este se comporte como un capacitor, por esta razón se hace necesario seguir una serie de consideraciones que contribuyen en gran forma al correcto diseño y desempeño del equipo de radio frecuencia.

Entre las consideraciones más importantes se encuentran, el adaptarse a técnicas de montaje superficial, utilizar capacitores *SMD* de tipo cerámico multicapa, optimizar al máximo el diagrama esquemático en cuanto al uso de pistas en el circuito impreso, emplear el mínimo de cables en la realización del circuito, esta correcta selección de los componentes y la forma técnica de como trabajarlos ofrece entonces un buen y óptimo desempeño del equipo construido.

### **3.2 Radio Módulos**

Los radio módulos son los componentes principales para el diseño y construcción de los radios prototipo a los que hace referencia el objetivo principal de este proyecto, debido a que poseen una serie de características que logran satisfacer en cierto modo los requerimientos del proyecto, tales como una frecuencia de operación que se encuentra en la banda de *UHF*, y la integración de muchos componentes en uno solo que permite el montaje modular de los radios.

Los módulos con los que se realizaron los primeros montajes de los radios prototipo fueron adquiridos en Colombia, pero debido a la necesidad de optimizar las características de funcionamiento y operación del prototipo se hizo necesaria la adquisición de otros módulos en el exterior.

A continuación se realizara una breve descripción de cada uno de los módulos utilizados para la construcción de los radios prototipo junto con algunas de sus especificaciones técnicas.

### **3.2.1 Módulo TLP434A-0.5W**

Es un módulo híbrido de radiofrecuencia que opera en la banda de *UHF*, específicamente a una frecuencia teórica de 433.92MHz y entrega una potencia de salida de 0.5W con una polarización de 6 voltios *DC* , además trabaja con datos analógicos y digitales y tiene una velocidad de transmisión de 8KBps (ver anexo A), velocidad que si bien no es muy alta comparada con otros módulos que hay en el mercado y que representan un mayor costo, en principio es una velocidad de transmisión apropiada para la aplicación que se desarrolló.

La forma de conexión de este módulo no es complicada, sin embargo se debe tener especial cuidado en la manera de polarizarlo y de cómo se realiza el circuito impreso ya que el sometimiento del módulo a un exceso de temperatura puede ocasionar fallas o daños severos al mismo, e inclusive dejarlo inservible.

Estos módulos son utilizados principalmente en aplicaciones de control remoto, control de luz, monitoreo médico, monitoreo remoto de procesos industriales, transferencia periódica de datos que fue la aplicación que se le dio a estos módulos en este proyecto, entre otras, además de este módulo también se empleo el módulo TLP434A que presenta características de funcionamiento similares pero con un rango inferior de potencia (ver anexo B)

### 3.2.2 Módulo TXM-433-10

Este módulo es diseñado para trabajar en la banda de *UHF* a una frecuencia de 433.92 MHz, en conjunto con los receptores *RX2-433* y *SILRX-433-10*, con la adicción de una simple antena esta pareja puede ser utilizada para implementar un radioenlace y realizar una transferencia de datos serial, el rango de alcance de este radioenlace es muy variable y depende de muchos factores, entre los que se destacan principalmente el tipo de antenas empleadas y como han sido calibradas estas antenas, el otro factor importante es el ambiente de operación del radioenlace, ósea bajo que condiciones va a trabajar.

Este dispositivo presenta una modulación del ancho de banda de 10KHz *DC*, y acepta directamente datos análogos o digitales, además en su interior tiene implementado un filtro pasa bajas de modulación, aunque la modulación del ancho de banda del transmisor se extiende por debajo del nivel *DC* como lo hace la salida de *AF* de los receptores, no es posible pasar datos con un componente *DC*, debido a errores en la frecuencia que se presentan entre el transmisor y el receptor, las diferencias de frecuencia entre el transmisor y el receptor producen una desviación del nivel *DC* el cual causa un recorte de los datos en el módulo receptor .

El voltaje de polarización del *TXM-433-10* esta en la gama de los 2.7 a los 4 voltios (ver anexo C) esta polarización debe realizarse con una fuente limpia o libre de ruido como una pila seca, además este módulo no esta protegido contra polarización inversa, ya que voltajes inversos de hasta 2 voltios pueden ocasionar daños en él, por lo que se recomienda protegerlo externamente contra este tipo de polarización, el la figura 3.1 se puede apreciar un diagrama en bloques del transmisor descrito anteriormente.



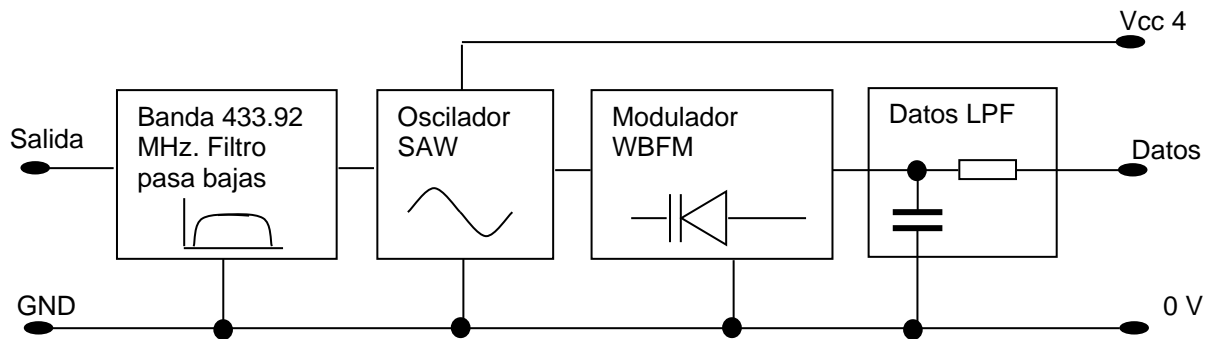


Figura 3.1. Diagrama en bloques del Transmisor *TXM-433-10*

### 3.2.3 Módulo RLP434A

Es un módulo receptor de Radiofrecuencia que es compatible con el módulo *TLP434A-0.5W*, utilizado para diseñar el radio transmisor, este receptor es polarizado con 6 voltios y esta sintonizado con tecnología SAW, lo que quiere decir que dispone de filtros de este tipo que son los encargados de ofrecer una mayor inmunidad al ruido, además tiene dos salidas, una lineal y otra digital, la salida utilizada para este trabajo fue la salida lineal y maneja una corriente típica de 4.5 mA, el rango de temperatura que soporta este receptor es de -20 a 80 C (ver anexo B) que es un rango bueno para operar en los lugares donde particularmente se desarrollan este tipo de aplicaciones.

### 3.2.4 Módulo SILRX-433-10

Este módulo es un receptor completo *FM superheterodino* (ver anexo D). Básicamente este módulo trabaja en la banda de *UHF*, y es particularmente utilizado con baterías portátiles donde los requerimientos de potencia son bajos, además presenta doble conversión *FM* con un controlador de selección de datos por la salida de *AF*, adicionalmente actúa rápidamente detectando si la señal portadora esta disponible e indica a circuitos externos que esta señal esta presente.

Esta señal es muy útil cuando se esta implementando la función del ciclo de potencia o para indicar a circuitos externos que esa señal esta siendo recibida, el rango de temperatura de operación de este módulo receptor esta entre los -10 y los 50 grados centígrados (ver anexo E), lo que garantiza que pueda trabajar en ambientes hostiles, un diagrama en bloques puede ser visto en la figura 3.2.

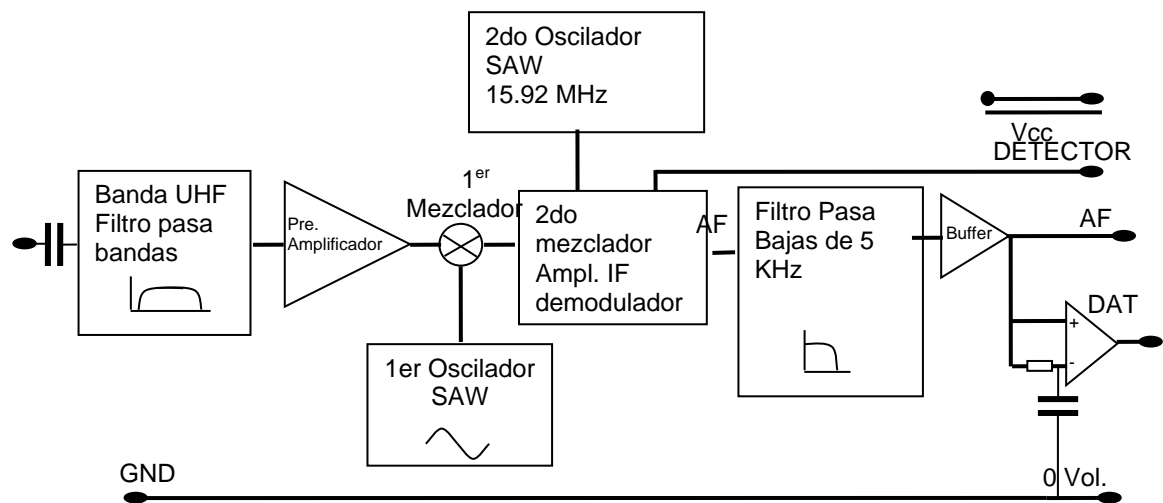


Figura 3.2. Diagrama en bloques del receptor *SILRX-433-10*

### 3.3 Emulación y montaje de una Estación Sismológica

La emulación y montaje de una estación sismológica es una parte importante durante el desarrollo experimental de este trabajo, ya que es en esta estación donde se van a realizar las pruebas a los radio transmisores que fueron construidos con los radio módulos mencionados anteriormente. Debido a esto se realizará una descripción de lo que es una estación sismológica, y se explicara en que consiste la emulación y el montaje de una estación de este tipo antes de hablar de la construcción de los radios prototipo, además como complemento se hablará de los componentes ubicados en las instalaciones del Observatorio encargados de realizar la recepción de las señales transmitidas por la estación.

### **3.3.1 Estación Sismológica**

Una estación sismológica esta conformada por una serie de elementos que se encuentran emplazados en campo, estos elementos tienen la función de adquirir y transmitir señales a otra serie de componentes que son instalados previamente en un Observatorio Sismológico con el fin de realizar un registro continuo de estas señales.

Los componentes básicos de una estación sismológica son el sensor, el VCO, el radio transmisor y la antena trasmisora, además otros componentes importantes son las baterías y los paneles solares que se encargan de brindar la alimentación a la estación.

Durante el desarrollo de este trabajo se llevó a cabo la emulación de una estación sismológica que se ubico en campo, con la cual se realizó la transmisión y posterior adquisición de una serie de señales entre las que se encuentran, pruebas de calibración, pruebas de alta y registro continuo de las señales de la estación en funcionamiento.

### **3.3.2 Emulación de una Estación Sismológica**

Emular una estación sismológica consiste en realizar el montaje de dicha estación, ejecutando en ella modificaciones que alteren en cierta forma algunas características de la estación original, pero que en esencia cumpla con las mismas funciones de operación.

En el caso de este proyecto en particular la modificación de mayor importancia que se realizó sobre la estación sismológica original fue el acoplamiento de un radio transmisor que previamente se había construido. Este radio transmisor trabajó en conjunto con un radio receptor que fue

construido con el fin de dar cumplimiento al objetivo principal de este proyecto.

Básicamente lo que se pretende con esto es verificar la posibilidad de que estos radios funcionaran en conjunto con el sistema telemétrico actual del Observatorio de Popayán, y que presentaran buenas características de funcionamiento después del acople.

### **3.3.3 Montaje de la Estación Sismológica Emulada**

Para realizar el montaje de una estación sismológica, es necesario conocer cada uno de los componentes de dicha estación, así como sus características de funcionamiento y la forma de conexión, esto se hace con el fin de evitar errores que puedan causar daños en el equipo. Para cumplir con esto se realizó una salida de campo a las estaciones del Volcán Puracé, que permitió en cierto modo tener un mejor conocimiento del funcionamiento de los componentes de una estación y su forma de conexión.

El primer paso para realizar el montaje es la ubicación del sensor, para esto es importante conocer que se debe procurar en la medida de lo posible que este se encuentre alejado de fuentes de ruido como quebradas, canteras etc., y además que su sitio de emplazamiento sea roca o suelo duro.

Una vez ubicado el sensor, se realiza la conexión entre este y el VCO, para este trabajo en particular se tomó la componente vertical del sensor y se conectó directamente a un VCO de 680Hz, después se toma la salida de este VCO y se conecta a la entrada del radio transmisor, este radio era el que había sido construido, por último este radio es conectado a una antena a través de cable coaxial. El VCO es alimentado por baterías de 12 voltios 40 amperios hora, mientras el radio transmisor es alimentado por una batería de 6 voltios 10 amperios hora.

En la siguiente fotografía se puede apreciar una estación sismológica emulada que fue montada para llevar a cabo la realización de pruebas.



**Figura 3.3. Foto de una estación sismológica emulada**

### **3.3.4 Componentes ubicados en las instalaciones del Observatorio**

El montaje descrito anteriormente es el montaje estándar de los componentes de una estación sismológica que se encuentra emplazada en campo, además de este montaje también se deben tener en cuenta los componentes que se instalan en el Observatorio para hacer la recepción y adquisición de las señales, entre estos componentes tenemos la antena receptora, que es acoplada a través de cable coaxial al radio receptor prototipo, luego la salida del radio receptor prototipo es conectada a un discriminador que es el encargado de recuperar la señal original que se generó en el punto de transmisión, este discriminador trabaja a la misma frecuencia del VCO es decir 680Hz, por último las señales del discriminador

son llevadas a un registrador en el cual se realiza el registro de estas en papel ahumado y de este registrador son enviadas a la aplicación gráfica donde se hace la recolección de las mismas.

Para lograr un mejor entendimiento de los ítems mencionados se recomienda al lector repasar detenidamente el capítulo anterior de este documento en el cual se hace una descripción y se muestra el funcionamiento de los componentes del Sistema de Telemetría del Observatorio de Popayán, y también la parte que hace mención a la salida de campo a las estaciones del Volcán Puracé en el siguiente capítulo.

### **3.4 Construcción de los radios prototipo**

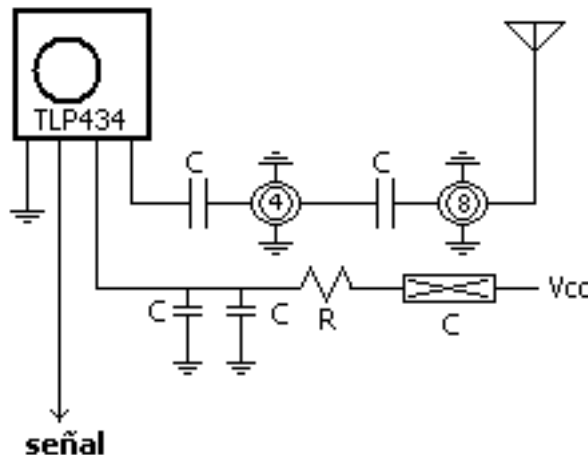
Con cada uno de los radio módulos que fueron mencionados se elaboraron radios prototipo transmisor receptor que fueron sometidos a pruebas de funcionamiento en estaciones sismológicas emuladas como las descritas anteriormente.

#### **3.4.1 Construcciones y Montajes Preliminares de los Transmisores**

Para la construcción del primer radio transmisor fueron tenidos en cuenta parámetros tales como la frecuencia de operación del enlace y la potencia a la que debía trabajar el transmisor para lograr obtener un buen radioenlace entre la estación emulada y las instalaciones del Observatorio, la razón de incluir estos parámetros es la de realizar una selección adecuada del módulo híbrido con el que se va a construir este radio transmisor. La primera alternativa que se exploró fue la de conseguir módulos que representaran bajo costo y una rápida adquisición, otro parámetro que también es necesario tener presente para la construcción del radio transmisor es el tipo de señal que va a manejar que para este proyecto era una señal analógica. De esta

manera entre los módulos disponibles que ofrecía el mercado Colombiano se escogió como el mas indicado para desarrollar esta primera fase de construcción el módulo *TLP434A* (ver anexo B), que es un módulo de muy bajo costo y brinda la ventaja de trabajar a una frecuencia de 433.92MHz.

El montaje de este primer circuito fue llevado a cabo sobre una tarjeta impresa construida de forma artesanal. Teniendo en cuenta que la potencia de salida del módulo *TLP434A* no es muy grande (100mW -12V), se llevó a cabo el acople de unas etapas que lograrán garantizar mayor potencia, sin que esta excediera los 500mW que era una condición inicial muy importante que debía considerarse. Para esto se utilizaron dos integrados que fueron ajustados a la salida del módulo, estos integrados fueron el *MAR8* y el *MAV4*, el diagrama esquemático de este montaje puede verse en la figura 3.4.



**Figura 3.4. Diagrama esquemático implementado con el transmisor *TLP434* con dos etapas de potencia**

Debido a algunos inconvenientes que se presentaron con el circuito mencionado anteriormente y que serán mencionados con detalle mas adelante, se debieron tomar en cuenta otras consideraciones de diseño y hacer algunas modificaciones al esquemático del mismo que es mostrado en la figura 3.4, entre estas modificaciones se destaca la eliminación de una de

las etapas de potencia, específicamente la del *MAV4* (ver figura 3.5), ya que se logró analizar que era en esta etapa donde se estaba induciendo mucho ruido debido a que a pesar de tener capacitancias que servían para asegurar un buen acople de impedancias, estas no eran suficientes para garantizar este acople entre los integrados de potencia, ya que la frecuencia en la que se estaba trabajando es considerada muy alta para este tipo de sistemas y cualquier factor podría fácilmente ser interpretado como fuente de ruido.

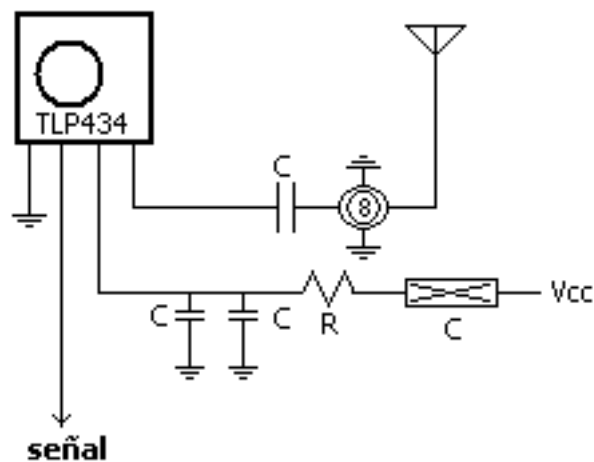


Figura 3.5. Diagrama esquemático implementado con el transmisor *TLP434* con una etapa de potencia

Finalmente dentro esta fase preliminar de construcción del radio transmisor se consideró la utilización de otro módulo de *RF* cuyas referencias y especificaciones técnicas ya fueron mencionadas al principio de este capítulo.

Este módulo es el *TLP434A-0.5W*, el diagrama esquemático implementado con este módulo transmisor es mostrado en la figura 3.6, y el montaje hardware del radio es mostrado en la figura 3.7.



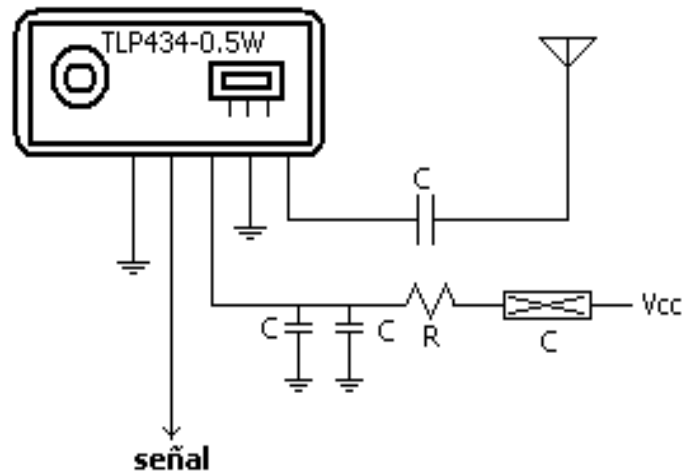


Figura 3.6. Diagrama esquemático implementado con el transmisor TLP434-0.5W

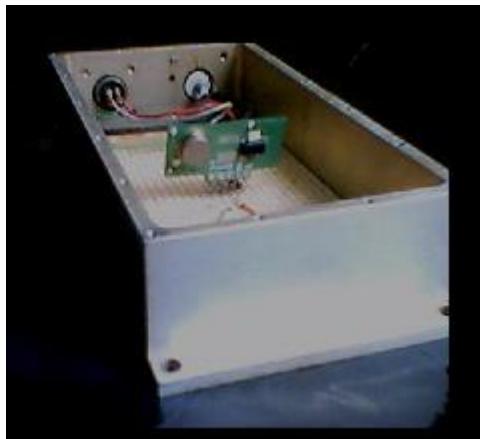


Figura 3.7. Radio transmisor construido con el módulo TLP434A-0.5W

El montaje del circuito con este nuevo módulo garantizaba una potencia de salida que estaba acorde a los requerimientos exigidos sin necesidad de implementar una etapa adicional que pudiera inducir ruido, razón por la cual era de esperarse que la medida de la frecuencia de operación se encontrara en la banda de *UHF* como lo especifican los requerimientos de diseño y que esta presentara el valor de la frecuencia de operación del módulo.

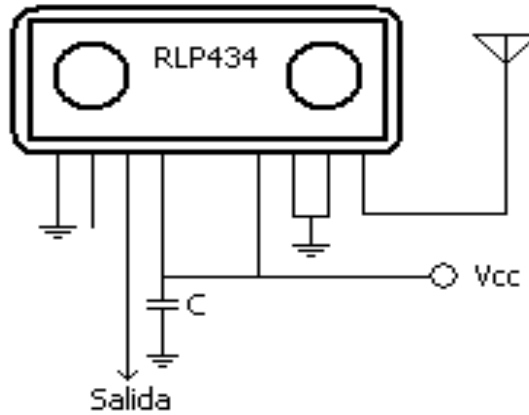
Sin embargo aunque este integrado ha sido construido para trabajar con datos tanto análogos como digitales, la operación del mismo con datos analógicos no es muy buena debido al tipo de modulación con la que trabaja (ver anexo A), lo que puede generar que se presenten algunos inconvenientes como ruido, que desmejoran la calidad de la señal

### **3.4.2 Construcción y Montaje Preliminar del Receptor**

Para llevar a cabo la construcción del radio receptor es necesario conocer la frecuencia de operación del transmisor para que esta pueda ser captada por el receptor, además se debe tener en cuenta el voltaje de polarización del circuito para evitar daños por exceso de este, la escogencia del módulo para la construcción del receptor se llevó a cabo teniendo en cuenta estas consideraciones, ya que se conocía de antemano mediante especificaciones técnicas que este era compatible con el módulo utilizado para construir el radio transmisor de la primera fase.

Los primeros montajes del radio receptor fueron realizados sobre protoboard, pero este tipo de montajes cuando se diseñan circuitos de alta frecuencia como los de esta aplicación no son muy buenos debido a que en ellos se induce mucho ruido presentado por los cables y por la misma protoboard, y el ruido es un factor crítico para este tipo de sistemas debido a que la señal se puede enmascarar en él y las medidas realizadas no van a presentar una buena estabilidad ni una buena confiabilidad, sin embargo estos montajes son necesarios porque con ellos se pueden identificar fallas en el circuito que pueden ser corregidas fácilmente, en cambio si el montaje del circuito se realiza directamente sobre circuito impreso, solucionar un problema que se presente en este implica volver a reconstruir el circuito una y otra vez. Cuando se logró obtener el circuito con el que se iba a realizar el montaje del radio receptor este se plasmo en una tarjeta impresa construida tal como se hizo con el radio transmisor. En la figura 3.8 se puede apreciar el diagrama

esquemático implementado con el receptor *RLP434*, y en la figura 3.9 el montaje hardware de este esquemático.



**Figura 3.8. Diagrama esquemático implementado con el receptor *RLP434***



**Figura 3.9. Radio receptor construido con el módulo *RLP434***

Luego de tener este diagrama esquemático implementado se procedió a emular una estación sismológica al interior del Instituto y a realizar un radioenlace a corta distancia entre esta estación y los componentes de recepción ubicados en el observatorio entre los que se encuentra este radio receptor. Esto se hace con el fin de realizar la recepción de señales de prueba y verificar que características presentan estas señales y con esto estimar si es conveniente implementar el radioenlace entre la estación

emulada y las instalaciones del Observatorio a una distancia mayor, estos radioenlaces serán descritos con mas detalle en el siguiente capítulo ya que estos fueron realizados en esta y la siguiente fase de construcción de los radios.

### **3.4.3 Construcción y Montaje Final del Transmisor**

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que brindaban los módulos *TLP*, utilizados en la primera fase de diseño del radio transmisor se opto por trabajar con otra clase de módulos que ofrecieran mas garantías y mejores características de funcionamiento, sin embargo las consideraciones de diseño tales como la frecuencia de operación, el tipo de datos a transmitir, y la potencia de operación del radio a construir no sufrieron ninguna modificación, debido a que estas consideraciones son independientes del tipo de dispositivos con los que se desarrolle la aplicación, para esta fase final el dispositivo que se utilizó fue el módulo de radiofrecuencia *TXM-433-10*.

Para realizar el montaje y las pruebas finales del transmisor, primero se estudiaron y analizaron los errores que se habían cometido con los montajes anteriores, tales como: la mala escogencia del circuito impreso, las exigencias de las fuentes de polarización, que deben ser fuentes limpias, entre otros errores cometidos en la parte de ensamble. Debido a esto, el montaje final del transmisor se realizó sobre una tarjeta impresa construida en la empresa Microcircuitos *Ltda.*, que tiene sus instalaciones en la ciudad de Cali, esta tarjeta fue construida bajo las especificaciones que se suministraron a la empresa, y que fueron previamente estudiadas y diseñadas para garantizar el correcto funcionamiento del montaje circuital.

Estas especificaciones fueron suministradas mediante archivos *gerber* que fueron generados en el programa de diseño *Eagle*.

Después de contar con la tarjeta impresa, se procedió a ensamblar los componentes sobre esta tarjeta, para ello se debía tener especial cuidado para no someter estos componentes a excesos de temperatura que ocasionan fallas que en la mayoría de los casos son irreparables, el diagrama esquemático implementado con este transmisor es mostrado en la figura 3.10 y su montaje hardware en la figura 3.11.

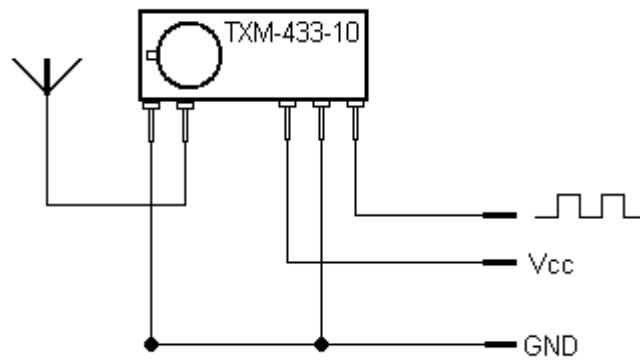


Figura 3.10. Diagrama esquemático implementado con el Transmisor *TXM-433-10*

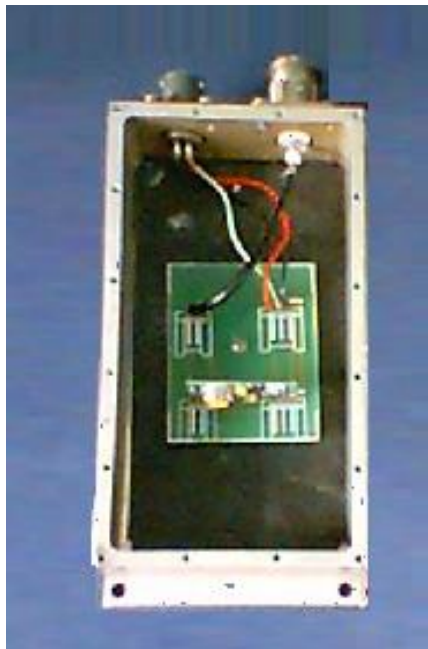


Figura 3.11. Radio transmisor construido con el módulo *TXM-433-10*

### 3.4.4 Construcción y Montaje Final del Receptor

Para el diseño de este radio receptor básicamente se tienen en cuenta las mismas consideraciones de diseño y construcción enunciadas en el numeral 5.3.2 de este documento, pero teniendo en cuenta que el módulo que se utilizó para este diseño es el *SILRX-434-10*, que presenta características diferentes a las del módulo *RLP434A*, como se enuncia a continuación.

El montaje final del radio receptor al igual que el del radio transmisor se efectuó en una tarjeta impresa que fue construida en Microcircuitos Ltda. Sobre esta tarjeta se ensamblaron los componentes necesarios para lograr la construcción y buen funcionamiento del radio receptor, una vez ensamblados estos componentes se realizaron las pruebas que ya habían sido realizadas con los módulos anteriores con el fin de analizar la viabilidad de realizar la implementación del radioenlace a una distancia mayor, es decir se emuló de nuevo una estación sismológica al interior del instituto para realizar un radioenlace a corta distancia para efectuar la transmisión y posterior recepción de las señales de prueba que eran enviadas con el radio transmisor construido con el módulo *TXM-433-10*.

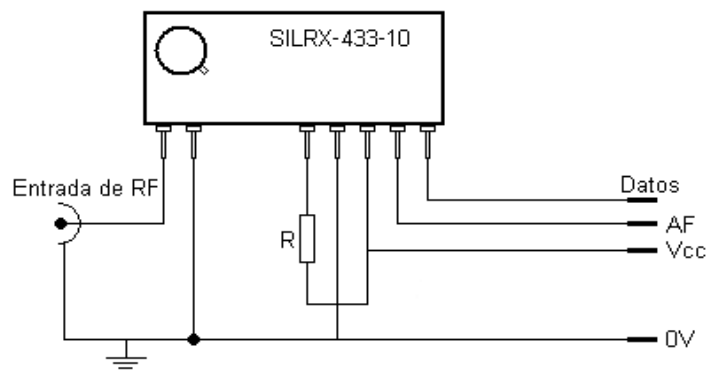


Figura 3.12. Diagrama esquemático implementado con el Receptor *SILRX-433-10*



**Figura 3.13. Radio receptor construido con el módulo *SILRX-433-10***

### **3.5 Calibración de las antenas**

La calibración de las antenas es un procedimiento importante para garantizar una buena transmisión y recepción de las señales, esta se llevo a cabo con el analizador de espectros *Hewlett Packard*, y consistió en ajustar el factor  $\beta$  de las antenas hasta obtener una impedancia de aproximadamente  $50\Omega$  a la frecuencia de operación de los módulos.

Básicamente lo que se hace con el proceso de calibración de las antenas es asegurar que estas trabajen a la frecuencia que operan los módulos, y que además a esta frecuencia presenten una impedancia que es característica en los sistemas de *RF* que es de 50 Ohmios.

### **3.6 Desarrollo de la aplicación grafica para la adquisición de las señales**

La aplicación gráfica para la adquisición de las señales fue desarrollada en *Labview*, debido a que este es un software que permite crear una interfaz de

usuario amigable y brinda muchas ventajas de programación que son difíciles de conseguir con un software libre, entre las ventajas mas significativas se encuentran el tiempo de desarrollo de la aplicación y la posibilidad de crear una interfaz gráfica de fácil comprensión para un operario con conocimientos técnicos en el área, sin embargo para tratar de comercializar a futuro los radios se hace necesario explorar la posibilidad de desarrollar esta aplicación con un software de distribución libre.

### **3.6.1 Características de la Aplicación**

La aplicación gráfica desarrollada presenta como principales características un panel frontal o interfaz de usuario amigable, en la cual se destacan elementos tales como un graficador x-y en el cual se pueden visualizar las señales que son recibidas en las instalaciones, para llevar a cabo esta adquisición de las señales por medio del *PC*, fue necesario realizar un acople del receptor al *PC* a través de un *MAX-232*, que es un integrado utilizado para este tipo de situaciones donde se debe trabajar con el puerto serial del computador.

Es importante resaltar que esta aplicación solo permite realizar la adquisición de las señales y no permite realizar modificaciones ni tratamiento a las mismas, ya que para esto existe software especializado como *seisan* o *seislog* que es empleado en gran parte de observatorios a nivel mundial y que a nivel nacional esta próximo a implementarse en todos los observatorios del país, este es un software de distribución gratuita que permite realizar adquisición y análisis complejos de señales sísmicas dentro de sus parámetros reales y a su vez hacer cálculos de valores importantes para designar los niveles de alerta ante un evento sísmico como lo son la magnitud y la profundidad, el valor de la coda etc.



En las siguientes figuras se muestran el diagrama esquemático y el panel frontal de la aplicación que fue desarrollada en Labview.

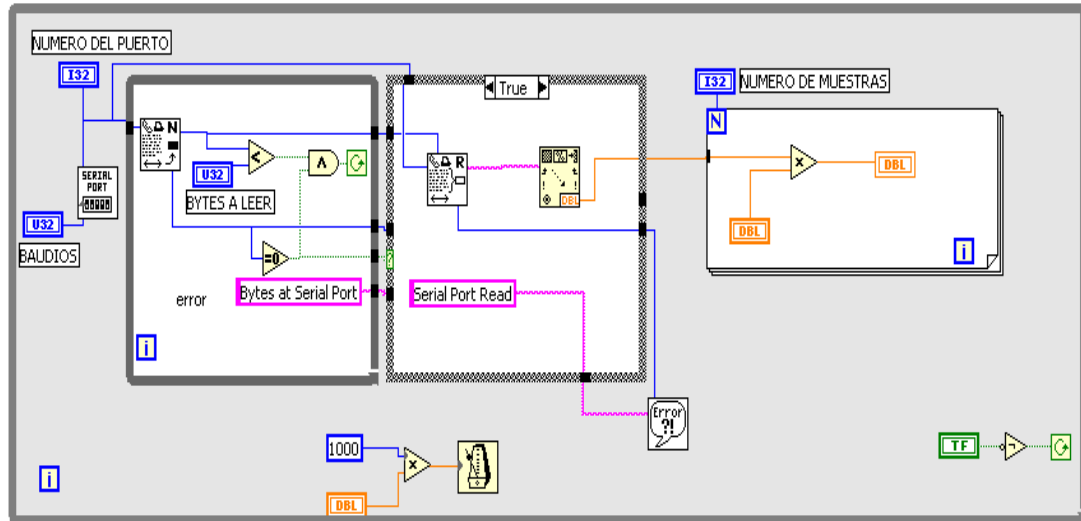


Figura 3.14. Diagrama esquemático de la aplicación desarrollada en Labview

Figura 3.15. Panel frontal de la configuración del puerto serial.



Figura 3.16. Panel frontal para el despliegue de la señal adquirida

#### **4 ANÁLISIS PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UN RADIOENLACE REMOTO**

Establecer un radioenlace entre un Observatorio y una estación sismológica emulada ubicada en un sitio remoto, trae implícito el hecho de tener que prever la necesidad de transportar todos los componentes de esta estación sismológica a este sitio, para esto es importante conocer que la salida de estos componentes de las instalaciones del Observatorio, debe ser justificada y previamente autorizada, ya que para esta salida son asignados recursos tales como el transporte de los equipos en un vehículo oficial del Ingeominas y el envío de personal técnico de la institución al sitio donde va a ser emplazada la estación con el fin de brindar apoyo logístico.

Buscando que los recursos anteriormente mencionados fueran bien utilizados, se optó por que antes de establecer un radioenlace de este tipo primero se realizara un análisis del correcto funcionamiento de los radios prototipo que habían sido construidos con el fin de que las pruebas de campo realizadas fueran todo un éxito. Para cumplir con esto se realizaron radioenlaces de corta distancia al interior de las instalaciones del Observatorio, en los que se intentaba verificar si era posible receptionar las señales que transmitían estaciones emuladas con los radios construidos en los montajes preliminares y finales, analizando las características de estas señales se determinó la viabilidad del establecimiento del radioenlace desde un sitio remoto.

Como resultado de la realización de estos radioenlaces de corta distancia se obtuvo que la pareja de radios transmisor-receptor que presentó mejores características de funcionamiento en el sistema, en cuanto a la correcta

recepción de las señales y estabilidad en la frecuencia de operación fue la que se desarrolló con los módulos *TXM-433-10* y el *SILRX-433-10*, debido a esto fue con esta pareja de radios que se estableció el radioenlace entre las Instalaciones del Observatorio y una estación sismológica emulada que fue emplazada en un sitio remoto, los radioenlaces de corta distancia que fueron implementados con las otras parejas de radios presentaron inestabilidad en frecuencia y señales con mucho ruido, razón por la cual estos radios no fueron tenidos en cuenta para la realización de pruebas de campo, sin embargo algunas señales obtenidas con estos radios son mostradas en el siguiente capítulo.

#### **4.1 Transmisión de una señal a través de un radioenlace establecido**

Cuando se transmite una señal a través del enlace de telemetría con que cuenta Ingeominas se logra ver de una forma aproximada el fenómeno que esta ocurriendo en un sitio determinado, entendiéndose por sitio determinado el punto donde se realiza la transmisión de la señal, el proceso que está implícito en esta transmisión es el siguiente:

Lo primero que sucede es un fenómeno que genera la excitación del sensor que se encuentra emplazado en la estación sismológica, produciendo que este sensor lo convierta en una señal eléctrica de pequeña magnitud y que esta comprendida en el rango de 0.1Hz a 25Hz, debido a que enviar esta señal así directamente generaría muchos problemas de ruido se prefiere hacerle una conversión de formato usando un VCO. El VCO como anteriormente se indicó es un oscilador controlado por voltaje, estos tienen frecuencias entre 680Hz y 3680Hz.

De esta forma una señal queda transformada y se permite el transporte de varias señales por un mismo enlace de radio, la señal procesada es enviada al radio trasmisor prototipo que se encuentra conectado a una antena [6].

La línea de vista es una condición muy necesaria para que el sistema funcione correctamente, esto quiere decir que desde la antena transmisora se debe ver eléctricamente la antena receptora, que es la que provee la señal al radio receptor prototipo para que este entregue las diferentes señales enviadas por la estación transmisora.

El radio entrega una o varias señales las cuales deben ser separadas y reconvertidas, para ello se usan los discriminadores los cuales se ajustan a las frecuencias equivalentes de los VCO en la estación transmisora, estos discriminadores entregan a su salida la señal de forma eléctrica, esta señal es guardada en computador y también en un registro de papel ahumado, método de suma importancia utilizado por los Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos del país.

La otra forma de transmitir una señal a través de este enlace de telemetría es simulando la excitación del sensor mediante un calibrador al cual se le conoce el voltaje de funcionamiento, la señal de este calibrador es conectada directamente al VCO para que se realice el proceso de transmisión descrito anteriormente. Este procedimiento es utilizado para la realización de las denominadas pruebas de calibración que son realizadas a las estaciones sismológicas que se encuentran ubicadas en campo, las cuales serán explicadas con detalle mas adelante.

#### **4.2 Descripción de un radioenlace a corta distancia**

Los radioenlaces a corta distancia entre una estación sismológica emulada y los equipos de recepción que se encuentran en el Observatorio son establecidos con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de los radios prototipo construidos tanto en la fase preliminar como en la fase final de este trabajo. Para esto se procura que estos radios trabajen en la banda

de *UHF* a una frecuencia estable de operación superior a los 400MHz con una potencia que no supere los 500mW.

Su montaje es realizado en las mismas instalaciones del Observatorio, es decir la estación sismológica es ubicada muy cerca de la etapa de recepción, razón por la cual este radioenlace no necesita el acople de antenas para que le sean practicadas las pruebas de funcionamiento.

### **4.3 Pruebas realizadas a los radioenlaces a corta distancia implementados**

#### **4.3.1 Medidas y Pruebas realizadas con los Radios Construidos en la Fase Preliminar**

El primer radioenlace a corta distancia establecido fue el que se llevo a cabo con la estación sismológica emulada con el radio transmisor que fue construido con el módulo *TLP434A* con acople de dos etapas de potencia (Figura 3.4)

Antes de implementar el enlace se hicieron algunas medidas básicas para corroborar que se estaba cumpliendo con los criterios de diseño establecido, estas medidas eran las de la frecuencia y potencia de operación del radio transmisor, estas medidas dieron como resultado un valor aproximado de 500mW en la parte de potencia y un valor de 274MHz en la frecuencia, este resultado en la frecuencia evidenciaba que se estaba presentando un inconveniente en el diseño, ya que esta era una frecuencia muy baja y lejana a la frecuencia establecida en los requerimientos de funcionamiento que era del orden de los 400MHz, y además una frecuencia muy alejada de la frecuencia de operación del módulo que era de 433.92MHz.

A pesar de estos inconvenientes se emuló una estación sismológica de trabajo en las instalaciones del Ingeominas con este mismo transmisor para

tratar de analizar si aun a esa frecuencia este podía transmitir una señal y que características tenían las señales que se transmitían, obteniendo resultados no muy buenos ya que como era de esperarse el módulo no respondía a la frecuencia que estaba operando, y las señales transmitidas además de presentar inestabilidad en frecuencia estaban enmascaradas en mucho ruido que saturaba la línea base del registrador, que para el caso de estos sistemas no es permisible. La adquisición de estas señales y la de una señal cuadrada (ver figura 5.7) que ayudara a verificar la calidad de las señales obtenidas con este montaje fueron realizadas a través de un escáner que se ajustaba a la frecuencia registrada por el frecuencímetro, debido que a la frecuencia que estaba trabajando el radio transmisor implementado no era posible realizar la adquisición de esta señal mediante el radio receptor implementado con el módulo *RLP434A* que trabaja en conjunto con este y todos los radio transmisores de la primera fase de construcción.

El segundo radioenlace a corta distancia establecido fue el que se llevó a cabo con la estación sismológica emulada con el radio transmisor que fue construido con el módulo *TLP434A* con acople de una etapa de potencia (Figura 3.5).

Los resultados de las medidas de potencia y frecuencia de operación de este radio transmisor fueron respectivamente de 150mW y 412.758MHz, a pesar de que esta frecuencia es muy cercana a la frecuencia de operación del módulo, cuando se realizó la emulación de la estación sismológica para establecer el radioenlace, las señales debieron ser adquiridas también con escáner ya que con el radio receptor construido no era posible capturar estas señales entre las que se encontraba una señal cuadrada como en el caso anterior (ver figura 5.8 ).

Finalmente el último radioenlace de corta distancia establecido entre la estación emulada y los componentes de recepción ubicados en las

instalaciones, fue el que se efectuó con la estación que tenía el acople del radio transmisor construido con el módulo TLP434A-0.5W.

Los resultados de las medidas en cuanto a potencia y frecuencia de operación que presenta el radio transmisor construido con este módulo fueron de 400mW y 434.350MHz respectivamente, la recepción de las señales se realizó mediante el radio receptor construido con el módulo *RLP434A*, entre estas medidas se encuentra la recuperación de una señal cuadrada que permitía verificar que tan buenas eran estas señales de prueba (ver figura 5.9) igual como se había realizado en los casos anteriores donde se utilizaba el escáner para hacer la recepción, obteniendo como resultado señales con menos distorsión que las anteriores pero las cuales aun presentan picos que no son deseados en sistemas de este tipo.

Debido a que las señales, obtenidas con los montajes anteriores presentaban ruido que se manifestaba en una línea base distorsionada en el registrador que no permitía que este trabajara correctamente y teniendo en cuenta las observaciones hechas en el análisis hecho en el numeral 6 de este documento, se decidió no realizar ningún radioenlace remoto con las estaciones emuladas con estos radios prototipo.

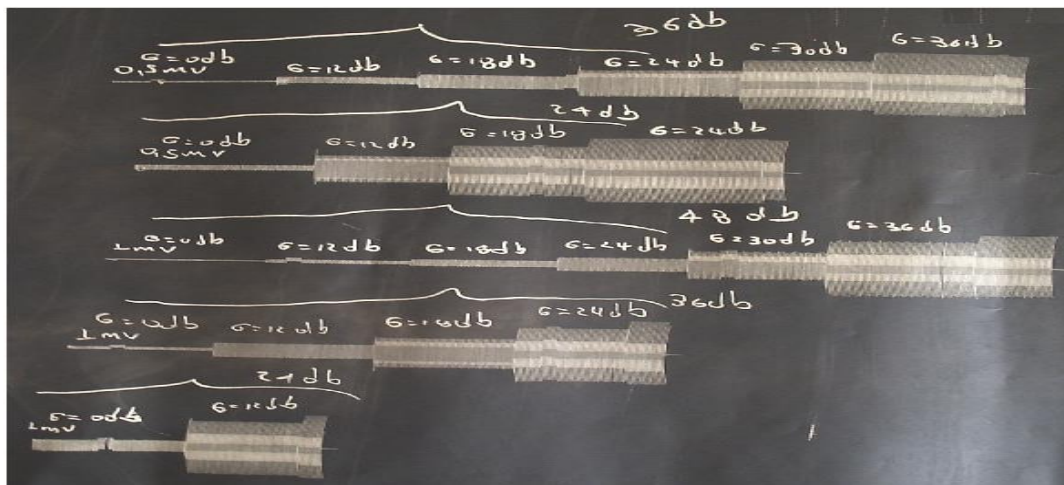
#### **4.3.2 Medidas y Pruebas realizadas con los Radios Construidos en la Fase Final**

El radioenlace a corta distancia establecido con los radios construidos en la fase final del trabajo, fue el que se implementó entre la estación sismológica emulada que utilizaba el radio transmisor que fue construido con el módulo *TXM-433-10* (Figura 3.11), y la etapa de recepción ubicada en las instalaciones en la cual estaba trabajando el radio receptor prototipo construido con el módulo *SILRX-433-10*. (Figura 3.13).



Los resultados obtenidos en las medidas de potencia y frecuencia de operación del radio transmisor construido con el módulo *TXM-433-10* fueron de 130mW y 433.92MHz, esta frecuencia esta acorde con la frecuencia de operación del módulo. Las señales obtenidas durante el desarrollo de este radioenlace presentaron una buena calidad (ver figura 4.1), además con este radioenlace se logró realizar el registro continuo de señales transmitidas por una estación emulada que se ubico a pocos metros del sitio de recepción (ver figura 4.2), registro que no se había podido obtener con los montajes hechos con los radios prototipo preliminares debido al ruido que se presentaba con estos en la línea base.

Teniendo en cuenta que las señales adquiridas con este radioenlace eran buenas se opto por implementar un radioenlace a una distancia mayor entre la estación sismológica emulada que utilizaba estos radios y las instalaciones del Observatorio Vulcanológico para realizar las pruebas de campo correspondientes, las señales obtenidas en las pruebas de campo son mostradas en el siguiente capítulo con su interpretación correspondiente.



**Figura 4.1. Pruebas de calibración realizadas en las instalaciones del Observatorio**

Las señales anteriores son pruebas de calibración que se realizaron a la estación sismológica emulada, cuando esta se encontraba a una distancia

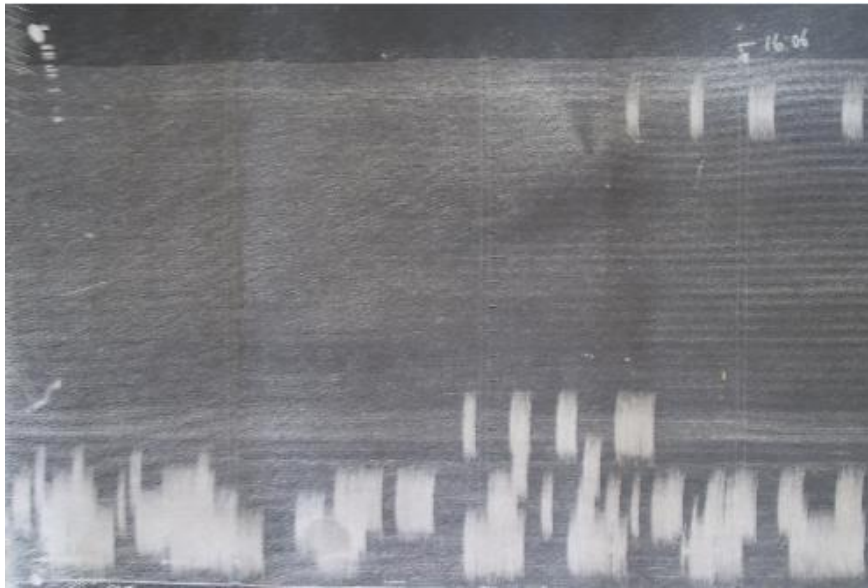
corta del sitio donde se recepcionan las señales. Para la realización de estas pruebas se utilizaron los voltajes de 0.5mv y 1mv que proporciona el calibrador, para este caso específico se mantuvo fijo un nivel de ganancia del VCO durante el desarrollo de la prueba, es decir mientras se lograba identificar el nivel de saturación del registrador, generalmente esto no se hace ya que el nivel de ganancia que se mantiene fijo es el del registrador y el que se varia es el del VCO, por las ventajas que este procedimiento brinda en campo, pero aprovechando la cercanía del enlace se considero pertinente realizar esta variante, que puede brindar algún tipo de información en el futuro de los niveles de ganancia o atenuación que se deben manejar en con el equipo que se trabaja en el Observatorio

Como se puede observar en la figura 4.1 en la primera línea se tiene un voltaje del calibrador de 0.5mv y un nivel de ganancia que se mantiene fijo en el VCO de 36dB, posteriormente se van variando los niveles de ganancia del registrador desde 0dB hasta que finalmente este se satura en 36dB, este mismo procedimiento es repetido en las medidas de la segunda a la quinta línea de registro ilustrado en la figura, presentándose en cada una de ellas valores diferentes de saturación a diferentes voltajes de operación del calibrador.

De esta manera es como se puede observar que para voltajes del calibrador mayores, se obtiene más rápidamente el nivel de saturación del registrador, esto es fácil de entender si analizamos que las deflexiones que presenta la aguja del registrador están en función del voltaje que recibe.

La figura 4.2 muestra un registro continuo de señales que fue tomado cuando se emuló y puso en funcionamiento una estación sismológica al interior de las instalaciones del Observatorio de Popayán, de este registro se puede rescatar que la señal muestra una traza bastante atenuada, esto se debe a

que la cercanía entre la estación y el lugar de recepción obligo a que el nivel de atenuación del VCO se ajustara al máximo.



**Figura 4.2. Registro continuo de señales tomado con el radioenlace establecido a corta distancia**

Además se presentan algunas alteraciones en la línea base de la señal que son debidas a que el sensor no esta completamente aislado de fuentes de ruido que pueden ser producidas por el hombre, sin embargo con este registro se pudo comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos contruidos en forma continua ya que esta estación funciono por un tiempo aproximado de 24 horas.

#### **4.4 Descripción del radioenlace remoto establecido**

El radio enlace establecido entre la estación sismológica emulada en campo y las instalaciones del Observatorio de Popayán, trabaja en la banda de *UHF* específicamente a una frecuencia de operación de 433.92MHz, este radioenlace utilizó antenas marca maxrad que tenían una buena ganancia y que fueron ajustadas a la frecuencia de operación del enlace para brindar mejores garantías de funcionamiento.

El sitio de emplazamiento de la estación sismológica emulada, para el establecimiento del radioenlace estaba aproximadamente a dos kilómetros de las Instalaciones del Observatorio, en este sitio se disponía de una buena línea de vista que garantizaba en cierto modo un buen arribo de las señales transmitidas a la estación, estas señales fueron básicamente pruebas de calibración, pruebas de alta y señales registro continuo de la estación en funcionamiento como se verá con detalle mas adelante.

#### **4.5 Pruebas realizadas al radioenlace establecido**

##### **4.5.1 Pruebas de Calibración y Pruebas de Alta**

Las pruebas de calibración, son pruebas de mantenimiento realizadas a las estaciones sismológicas que se encuentran emplazadas en campo, estas pruebas se realizan con el fin de estudiar en cuales de los parámetros de funcionamiento trabaja mejor la estación.

Para realizar estas pruebas es necesario disponer de radios de comunicaciones con los cuales el encargado de hacer el registro de las señales en las instalaciones del Observatorio solicita las acciones que se deben ejecutar sobre la estación sismológica para registrar sus variaciones. El elemento utilizado para realizar estas pruebas es conocido como calibrador que es el encargado de reemplazar al sensor durante la realización de las pruebas, básicamente un calibrador es un oscilador portátil que genera voltajes de 0.5, 1.0, y 2.0 mili voltios, una vez que el calibrador es conectado al VCO, el siguiente paso para la realización de las pruebas de calibración es variar los niveles de ganancia que presenta una de las tarjetas del VCO de acuerdo a las ordenes suministradas por la persona que se encuentra en las instalaciones quien esta visualizando con cual de estas ganancias las señales que arriban al observatorio saturan el registrador,

estos niveles de ganancia son variados en cada uno de los voltajes que genera el oscilador.

Cuando son registradas todas las pruebas de calibración que son realizadas a una estación, la persona que se encargó del registro de estas pruebas envía la orden a campo del nivel de ganancia en el que debe quedar trabajando la estación, esto lo hace de acuerdo a su criterio basándose en las señales recibidas previamente, es decir verifica en cual de los niveles de ganancia puede funcionar mejor la estación sismológica, luego es desconectado el calibrador y se vuelve a conectar el sensor a la estación, hecho esto se informa a la persona que se encuentra en el Observatorio que van a ser enviadas pruebas de alta para verificar que la estación esta funcionando correctamente sin decir el número de pruebas que van a ser enviadas.

Una prueba de alta se realiza dando una patada en un lugar que se encuentra cerca de donde esta emplazado el sensor, cuando estas son enviadas se pregunta a la persona que hace el registro cuantas pruebas de alta recibió, esta persona confirma y si el número coincide con las pruebas enviadas la estación queda lista para realizar el registro continuo de señales.

#### **4.5.2 Registro continuo de Señales**

El registro continuo de señales se lleva a cabo cuando una estación sismológica esta en funcionamiento, básicamente consiste en adquirir las señales que esta enviando la estación sismológica continuamente y plasmarlas en papel ahumado de 191mm, papel con el cual trabajan los registradores PS2 que fueron descritos en el cuarto capitulo de este documento. El objetivo principal de llevar a cabo este registro es el de poder recopilar información acerca de eventos que puedan presentarse durante el tiempo que la estación este transmitiendo información, en cada pliego de

papel ahumado se pueden registrar 24 horas de información continua, la cual generalmente solo esta compuesta de la línea base que transmite la estación cuando el sensor de esta no ha recibido ningún tipo de excitación, sin embargo cuando el sensor recibe alguna excitación esta línea base se altera produciendo un cambio en la señal transmitida normalmente por la estación.

## 4.6 Cálculos realizados al radioenlace establecido

### 4.6.1 Pérdidas en la Línea de Transmisión

Para realizar el cálculo de las pérdidas en la línea de transmisión que transporta la señal desde los radios hasta las antenas, es necesario tener en cuenta los índices de atenuación que son suministrados por los fabricantes para el tipo de línea de transmisión utilizada, para el caso de este trabajo la línea utilizada fue el cable coaxial RG8, que presenta pérdidas en el conductor de 0.39dB por cada metro.

Las pérdidas son calculadas mediante la expresión:

$$L_{tot} = L_{lt[dB/m]} \times L_{[m]} \quad (6.1)$$

Teniendo en cuenta que la longitud del cable empleado para el montaje de la estación emulada fue de aproximadamente 10 metros entre transmisión y recepción, se obtiene una pérdida en las líneas de transmisión  $L_{tot} = 3.9dB$ , esta pérdida es asociada generalmente a la radiación y al calentamiento del dieléctrico del conductor.

Otro tipo de pérdidas que es calculado en las líneas de transmisión, son las pérdidas por acople, en este caso lo ideal es lograr una razón de onda estacionaria (SWR) igual a 1.

La SWR de la antena empleada para el desarrollo de este radioenlace presenta un valor de 1.3, teniendo en cuenta este valor se puede calcular el coeficiente de reflexión ( $\Gamma$ ), y posteriormente el coeficiente de inserción ( $T$ ) de la siguiente manera.

$$|\Gamma| = \frac{(SWR-1)}{(SWR+1)} \quad (6.2)$$

$$|\Gamma| = 0.13043478$$

El coeficiente de inserción  $T$  es calculado mediante la siguiente expresión:

$$T = 1 - (|\Gamma|)^2 \quad (6.3)$$

$$T = 0.98298676$$

Una vez obtenido el valor de  $T$  se puede calcular el valor de las pérdidas de inserción o de acople a través de la siguiente expresión.

$$IL = -10 \times \log(T) \quad (6.4)$$

$$IL = 0.0745dB$$

Por último sumando el valor de  $L_{tot}$  con el valor de  $IL$ , se obtiene el valor de las pérdidas totales en las líneas de transmisión  $Ltx_{tot}$ .

$$Ltx_{tot} = L_{tot} + IL \quad (6.5)$$

Entonces,

$$Ltx_{tot} = 3.98dB$$

#### 4.6.2 Cálculo de las Potencias P.R.A y P.E.R

La Potencia Radiada Aparentemente ( $P.R.A$ ), es básicamente la potencia suministrada por el transmisor menos las pérdidas que se producen en la

línea de transmisión que ya fueron calculadas anteriormente. Por medida directa en el radio transmisor prototipo se tiene que este presenta una potencia ( $P_{tx}$ ) de 130mW o lo que es lo mismo -8.86dBw.

Utilizando el valor de las pérdidas totales en las líneas de transmisión calculado, se puede obtener el valor de la potencia radiada aparentemente ( $P.R.A$ ) de la siguiente manera:

$$P.R.A = P_{tx} - L_{tx_{tot}} \quad (6.6)$$

$$P.R.A = -12.84dBw$$

Para calcular la potencia efectivamente radiada ( $P.E.R$ ) se debe conocer que esta es igual a la suma entre la potencia radiada aparentemente ( $P.R.A$ ) y la ganancia de la antena así:

$$P.E.R = P.R.A + G_{tx} \quad (6.7)$$

La ganancia de la antena es suministrada por el fabricante y tiene un valor de 11dB, de este modo se tiene:

$$P.E.R = -1.84dBw$$

$$P.E.R \approx 0.655w$$

#### **4.6.3 Densidad de Potencia e Intensidad del Campo Eléctrico**

Para realizar la medida de la densidad de potencia en un punto del espacio, se debe tener en cuenta que esta depende de la unidad de área esférica  $4\pi r^2$ , y de la potencia que es radiada por una fuente puntual de energía electromagnética.

$$\rho = \frac{P.E.R}{4\pi r^2} \quad (6.8)$$



Con el valor de  $P.E.R$  expresado en vatios y teniendo en cuenta que  $r$  es la distancia que existe entre el punto radiador y el punto de medida, que para este caso es de dos kilómetros se obtiene una densidad de potencia de  $0.013w/km^2$ .

Para realizar el cálculo de la intensidad del campo eléctrico para este radioenlace, se debe tener en cuenta que la impedancia del espacio libre al campo eléctrico de una onda electromagnética que se esta propagando tiene un valor de  $120\pi$ , de este modo se tiene otra expresión de la densidad de potencia, pero esta vez en función del campo eléctrico así:

$$\rho = \frac{E^2}{120\pi} \quad (6.9)$$

Si se igualan las expresiones de densidades de potencia, y se despeja  $E$  se obtiene finalmente la intensidad del campo eléctrico en el espacio expresado en volts/m. Este campo es debido a una fuente de potencia radiada expresada en vatios y medido a una cierta distancia expresada en metros, de este modo se tiene que la expresión para este campo eléctrico es:

$$E_{\left[\frac{v}{m}\right]} = \sqrt{\frac{30 \times P.E.R_{[w]}}{d^2_{[m]}}} \quad (6.10)$$

Como el valor de la  $P.E.R$  ya fue calculado, introduciéndolo en la expresión se tiene el valor del campo eléctrico.

$$E_{\left[\frac{v}{m}\right]} \approx 2.21 \times 10^{-3}$$

#### 4.6.4 Pérdidas de Espacio Libre

El cálculo de las pérdidas de espacio libre se realiza mediante la fórmula de Fritz, esta fórmula relaciona la distancia del trayecto y la frecuencia de operación del sistema de la siguiente manera.

$$Lfs_{[dB]} = 32.45 + 20\log d_{[km]} + 20\log f_{[MHz]} \quad (6.11)$$

Como ya se había mencionado el radioenlace fue establecido a una distancia de dos kilómetros aproximadamente y presentaba una frecuencia de operación de 433.92MHz, con estos datos se obtiene un valor de pérdidas de espacio libre de 91.21dB, este valor es muy importante debido a que es utilizado para calcular la potencia a la entrada del receptor como se mostrará mas adelante.

#### 4.6.5 Potencia a la entrada del receptor

Con los resultados previamente obtenidos de las pérdidas totales en las líneas de transmisión, y las pérdidas de espacio libre, se puede proceder a realizar el cálculo de la potencia a la entrada del receptor.

La ecuación utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$Pr_x = Ptx - Ltx_{tot} + Gtx - Lfs + Grx \quad (6.12)$$

Donde,

$Ptx$  es la potencia del equipo transmisor,  $Ltx_{tot}$  son las pérdidas totales en las líneas de transmisión,  $Gtx$  y  $Grx$  son las ganancias de la antena transmisora y receptora respectivamente, y  $Lfs$  representa las pérdidas de

espacio libre, todos estos valores son conocidos entonces reemplazándolos en la expresión se tiene que la potencia a la entrada del receptor es igual a:

$$Pr_x = -82.05dBw$$

$$Pr_x = -52.07dBm$$

$$Pr_x = 6.2 \times 10^{-6} mw$$

#### 4.6.6 Margen de umbral del receptor

Se conoce como margen de umbral del receptor a la potencia mínima requerida que debe presentar la portadora, para que el radio receptor entregue un valor de banda base utilizable.

Para superar este umbral con modulación en frecuencia que es el tipo de modulación con la que trabajan los radios prototipo construidos en la fase final de este trabajo, la portadora debe superar el ruido de banda ancha en 10db, este ruido esta determinado por la siguiente expresión.

$$N = KTB \tag{6.13}$$

Donde  $N$  es la potencia del ruido en Watts,  $T$  es la temperatura de ruido en el receptor y  $B$  es el ancho de banda ocupado por la portadora.

Teniendo en cuenta que la telemetría utilizada en este caso fue telemetría análoga se puede tomar el ancho de banda como 25KHz, que es el máximo valor de ancho de banda que permite la legislación colombiana.

Asumiendo  $T \approx 373K$ , que es la temperatura máxima que soporta el módulo con el que fue construido el receptor. Se tiene un valor de la potencia del ruido igual a:

$$N(dBm) = -128.90$$

Ósea que el margen de umbral del receptor seria:

$$Cr_x = -118.90dBm$$

$$Cr_x = 1.2 \times 10^{-12} mw$$

Con el fin de verificar las conversiones de unidades que se han realizado en este capítulo se sugiere al lector que se remita al anexo F de este documento.

## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Básicamente los resultados más importantes que se obtuvieron en este proyecto en cuanto a medidas y cálculos realizados están enmarcados en las medidas de frecuencia de operación de los radios prototipo, y la medida de potencia del radio transmisor, respecto a los cálculos se consideran importantes las pérdidas en las líneas de transmisión y en el espacio libre, así como algunos cálculos de niveles de potencia, e intensidad del campo eléctrico entre otros que ya fueron realizados en el capítulo anterior.

En cuanto a la adquisición de señales de prueba, como pruebas de calibración, pruebas de alta y el registro continuo de señales que transmitía la estación emulada que se encontraba en funcionamiento también fue otro resultado importante de este proyecto, debido que el hecho de poder transmitir y recibir estas señales mostraba un buen funcionamiento de los radios construidos en la fase final.

Para tener una referencia que permitiera establecer que tan buenas eran estas señales, se realizó una salida de campo donde se visitaron e hicieron pruebas a tres estaciones sismológicas que operan en el Volcán Puracé (Cóndor, La Mina y Curiquinga). Esta salida de campo será descrita con detalle en la sección 5.1, debido a que presenta gran importancia porque en ella se realizaron pruebas de calibración y de alta a cada una de las estaciones sismológicas visitadas para verificar su correcto funcionamiento, estas pruebas nos permiten hacer una comparación entre las señales que son obtenidas con los radios fabricados por la casa monitron y los radios prototipo, comparación que es importante para analizar las características de

las señales transmitidas y recibidas con los radios prototipo cuando estos son puestos en operación en una estación sismológica emulada y acondicionada de cierta manera a los parámetros reales de funcionamiento en campo.

### **5.1 Salida de campo a las estaciones de monitoreo de la actividad sísmica del Volcán Puracé**

Para el buen desarrollo y evolución de este trabajo se realizó una salida de campo, esta salida tuvo como objetivos principales la visita a las estaciones sismológicas que se encargan de realizar el monitoreo del Volcán Puracé y el mantenimiento de estas instalaciones para verificar su correcto funcionamiento. Básicamente este mantenimiento consistió en realizar las medidas de los niveles *DC* de las baterías que se encargan de alimentar los circuitos que componen las estaciones, además se verificó el correcto funcionamiento de las estaciones a las frecuencias que estas estaban trabajando, para esto se utilizó un escáner que era ajustado a estas frecuencias de operación, este paso es importante realizarlo antes de iniciar las siguientes pruebas ya que permite conocer si las estaciones están funcionando o no.

Finalmente se ajustaron los niveles de ganancia de los *VCO*'s y se transmitieron señales con un voltaje de punto de prueba conocido, induciéndole este voltaje al *VCO*. Esto se hace con el fin de verificar en cual de los niveles de ganancia trabajan mejor las estaciones, hecho esto se realiza la conexión del sensor para la adquisición de las señales de campo, y se envían señales de prueba a las instalaciones del Observatorio en Popayán.

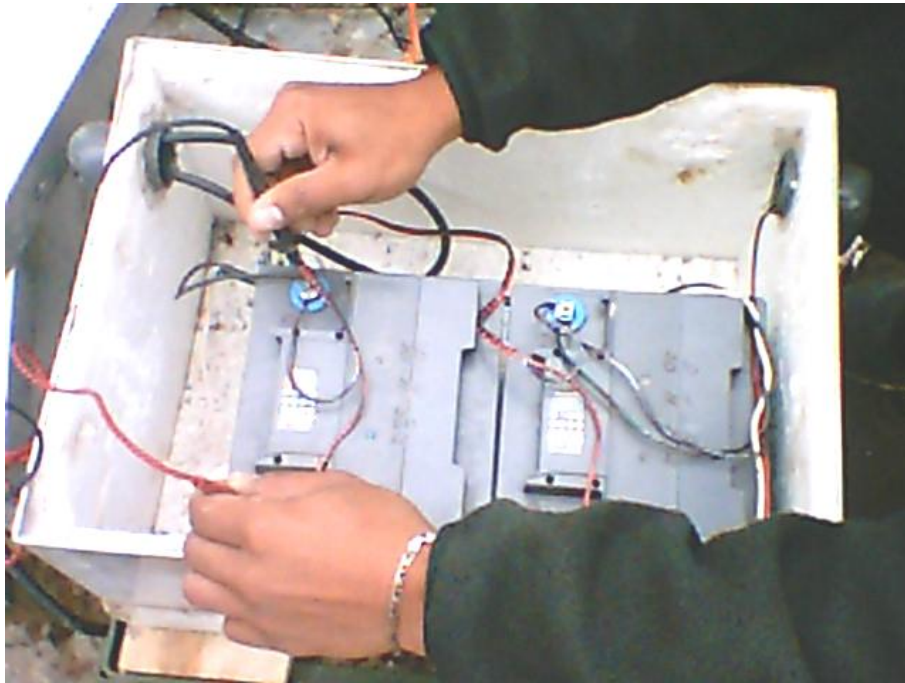
A continuación se mostrarán algunas fotografías de las estaciones sismológicas visitadas, para tener una mayor claridad de cómo son y como funcionan.



**Figura 5.1. Foto parte externa estación de la Mina**

En la fotografía se aprecia la parte externa de la estación sismológica de la Mina, lo que se observa es una caseta construida en cemento y arena, que tiene como finalidad proteger los equipos electrónicos que componen la estación que se encuentra emplazada en campo, de factores como lluvia, humedad, y otras condiciones climatológicas hostiles que pueden ocasionar un mal funcionamiento de los componentes. Además también sirve como medio de protección contra sabotaje o robo, debido a que la caseta es cerrada con candados internos que permiten un cierto grado de seguridad.

No obstante este último factor es difícil de controlar y se han presentado casos como el de la estación de Chagarton, en el Volcán Puracé, donde los equipos han sido hurtados en tres ocasiones, generando como consecuencia la determinación de no emplazar mas estaciones sismológicas en ese lugar, lo que a su vez reduce una zona de monitoreo de la actividad del Volcán Puracé.

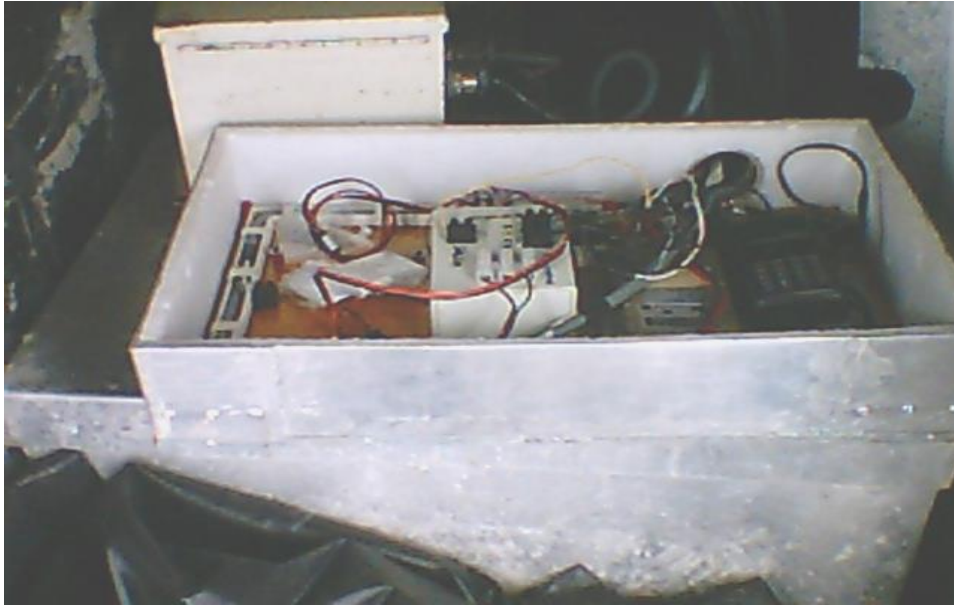


**Figura 5.2. Foto medida de voltaje de las baterías**

La medida del voltaje de las baterías, es una función primordial en las labores de mantenimiento de una estación sismológica, ya que estas baterías son las que se encargan de la polarización de los componentes electrónicos de la estación. Es importante conocer que un buen suministro de voltaje garantiza el correcto funcionamiento de los componentes de la estación.

Las baterías utilizadas por el Observatorio de Popayán, son de 12 voltios y 40 amperios hora, sin embargo para el caso de nuestro trabajo las baterías utilizadas fueron de 6 voltios 10 amperios hora. Esto se debe principalmente a que los híbridos utilizados para el desarrollo de los radios, son módulos de una tecnología de bajo consumo, que requieren voltajes pequeños de polarización, se debe tener en cuenta que esto es importante ya que al disminuir los requerimientos de consumo, se está logrando la optimización en una parte del sistema de telemetría.





**Figura 5.3. Foto componentes estación Cóndor**

Esta es una fotografía, donde se pueden observar los componentes de la estación sismológica llamada Cóndor. Esta estación, además de transmitir las señales sísmicas del Volcán Puracé al Observatorio de Popayán, también se encarga de adquirir señales transmitidas desde una estación sismológica ubicada en el Huila, estas señales son adquiridas mediante una antena receptora y un escáner y luego son transmitidas a Popayán.

La razón por la cual se deben transmitir las señales del Huila, a la estación Cóndor, y luego de la estación Cóndor a Popayán, es porque entre la estación sismológica del Huila y Popayán, no se cumple la condición de línea de vista que fue mencionada en el primer capítulo de este trabajo, y que es muy importante para radioenlaces de baja potencia que trabajan en la banda de *UHF*, como es el caso de los radioenlaces establecidos por los Observatorios en Colombia.



**Figura 5.4. Emplazamiento de las antenas repetidora del Huila, y transmisora a Popayán**

Esta fotografía muestra dos antenas, una trabaja como antena receptora y otra como transmisora. La antena receptora es el elemento encargado de recibir una señal que esta siendo enviada desde una estación ubicada en el Huila y la transmisora envia esta señal al Observatorio de Popayán.

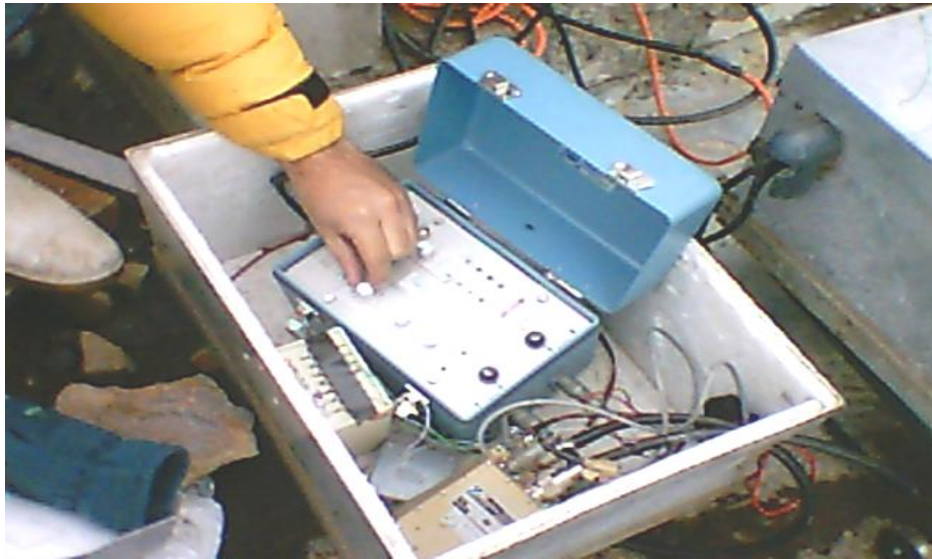
Estas antenas trabajan a las frecuencias de operación de los radios, es decir están ajustadas para que a estas frecuencias presenten una impedancia característica de 50 Ohmios, y una buena ganancia que permita un buen establecimiento de los radioenlaces, las antenas se encuentran ubicadas en la estación Cóndor, cuyos componentes fueron mostrados en la fotografía anterior.



**Figura 5.5. Foto panel solar**

Esta es una fotografía donde se muestran dos paneles solares que se encargan de mantener alimentadas las baterías con las que trabaja la estación sismológica emplazada en campo. Estos paneles solares son ubicados sobre la parte superior de la caseta que es construida para proteger los componentes de la estación.

Estos paneles solares corresponden a la estación de la Mina, al fondo de la fotografía se puede apreciar la antena transmisora de la estación que es la encargada de transmitir las señales a través del espacio libre hasta el Observatorio Vulcanológico y Sismológico ubicado en la ciudad de Popayán.



**Figura 5.6. Foto componentes de la estación la Mina**

En esta fotografía se pueden apreciar los componentes de la estación sismológica la Mina. La caja azul que aparece en la foto es un VCO de ganancia variable que es el encargado de realizar la conversión de formato de la señal proveniente del sensor, de variaciones de corriente a variaciones de frecuencia, para de este modo realizar una mejor transmisión de la información y evitar problemas de ruido.

En el momento de ser tomada esta fotografía se estaban realizando envíos de señales con un voltaje de punto de prueba conocido a las instalaciones del Observatorio, para esto se hacen variar los niveles de ganancia del VCO, para lograr determinar en cual de ellos trabaja mejor la estación, es decir en cual de estos niveles de ganancia la señal transmitida es de mejor calidad.

## **5.2 Análisis de los resultados obtenidos con los radios prototipo**

Los resultados mostrados en las tablas 7, 7.1, y 7.2 fueron obtenidos a partir de medidas directas que se realizaron a los radios prototipo que se construyeron en este trabajo. Estos resultados fueron mencionados en el

capítulo anterior en los numerales 6.3.1 y 6.3.2 y en este capítulo se realizara un análisis de ellos y de las señales que fueron obtenidas cuando estos radios eran implementados al sistema de telemetría del Observatorio Sismológica de Popayán.

### 5.2.1 Resultados del radio Tx con el Módulo *TPL434A*

Los resultados que se muestran a continuación fueron obtenidos cuando se realizó el montaje de los esquemáticos que aparecen en las figuras 3.4 y 3.5, estos resultados son aproximados en la parte de frecuencia ya que esta no era muy estable, posteriormente se mostraran las señales obtenidas con la implementación de estos montajes.

PRUEBA	FRECUENCIA (MHz)	POTENCIA (mWatts)
1. Dos etapas de potencia	274.354	500
2. Una etapa de potencia	412.758	150

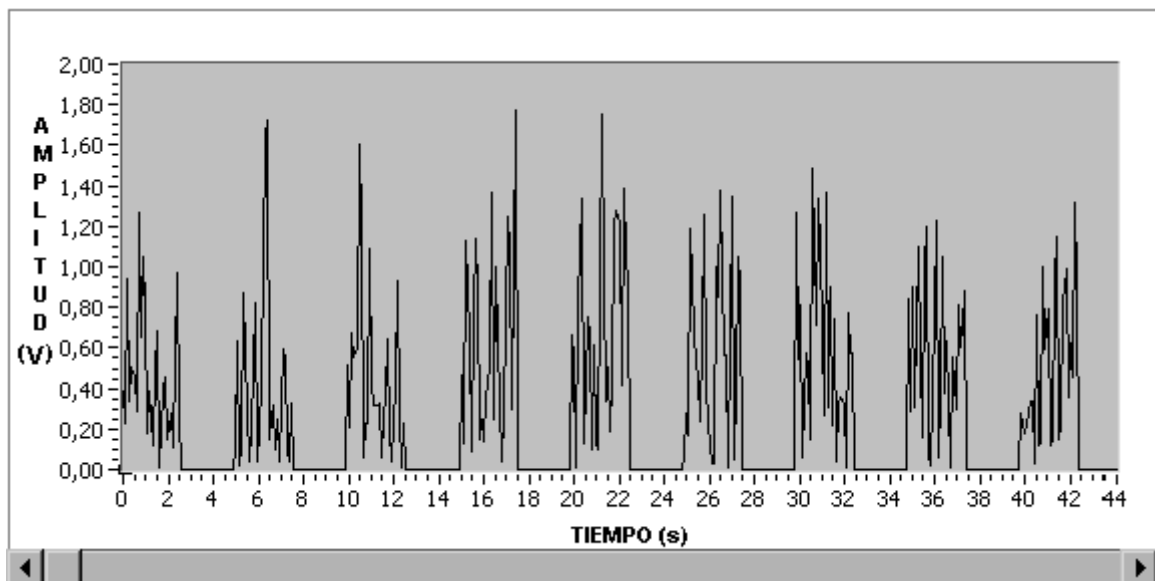
**Tabla 5.1 Resultados de frecuencia y potencia del radio con *TLP434A***

Analizando estos resultados se puede decir que cuando el módulo *TPL434A* tiene acopladas dos etapas de potencia, se presenta una frecuencia de operación del radio transmisor prototipo muy inestable, y lejana a la frecuencia de operación del módulo. Esto se debe a que cada una de estas etapas a su vez que amplifican la señal también introducen ruido a la misma, además por cada etapa de potencia implementada se genera un desacople de impedancias en el circuito, el primer desacople está entre la salida del módulo y la primera etapa de potencia, y el segundo entre la otra etapa y la antena. Todo esto se manifiesta en la inestabilidad de frecuencia antes mencionada.

Por otra parte cuando fue suprimida una de las etapas de potencia la inestabilidad en la frecuencia disminuyó, y esta estuvo en el orden de la

frecuencia de operación del módulo, esto pasa porque cuando se suprime esta etapa también se está suprimiendo una de las fuentes de ruido que tiene el circuito y además uno de los desacoples de impedancia antes mencionados, sin embargo es importante analizar que la potencia cae de 500mW a 150mW, esto es evidente si se considera que se está “perdiendo” una amplificación en el circuito al quitar esta etapa.

Las figuras 5.7 y 5.8 son señales obtenidas con los radios que tienen como base de construcción el módulo *TLP434A*, en estas figuras se puede analizar que las señales presentan mayor ruido con el radio que tiene el acople de dos etapas de potencia, esto se puede explicar si se tiene en cuenta que en este radio las fuentes de ruido son mayores a las del radio con un solo acople de potencia y además si se analiza que la estabilidad en frecuencia es mayor en este mismo radio, tal y como ya se había mencionado.



**Figura 5.7. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor *TLP434A* con acople de dos etapas de potencia**

De estas figuras es importante rescatar que a pesar del ruido que se presenta en las señales, si es posible recuperar de cierta forma la onda cuadrada original, que tenía un valor de voltaje pico a pico de 4 voltios o 2 voltios pico, voltaje que era de interés recuperar, el recorte de voltaje en las ondas adquiridas es debido principalmente al ruido que se manifiesta como picos indeseados en la señales y a que el radio no estaba trabajando a la frecuencia apropiada.

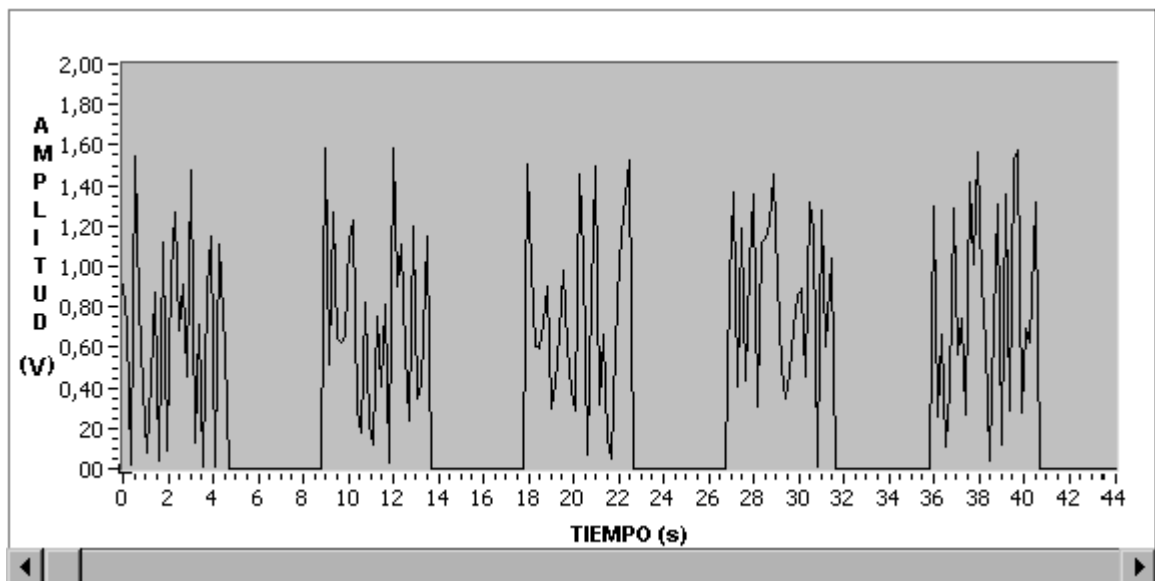


Figura 5.8. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor *TLP434A* con acople de una etapa de potencia

### 5.2.2 Resultados del radio Tx con el Módulo *TPL434A-0.5W*

PRUEBA	FRECUENCIA (MHz)	POTENCIA (mWatts)
1. <i>TLP 434A-0.5W</i>	434.350	400

Tabla 5.2. Resultados de frecuencia y potencia del radio con *TLP434A-0.5W*

Analizando el valor de frecuencia que aparece en la tabla 7.1, se aprecia que esta se encuentra muy cercana al valor de trabajo del módulo que es de

433.92MHz, sin embargo esa pequeña diferencia que existe entre el valor medido y el valor teórico de operación genera un inconveniente para establecer una buena pareja de radios transmisor-receptor. Esto se debe a que el receptor opera en forma eficiente cuando el transmisor esta trabajando en su frecuencia adecuada es decir 433.92MHz, esto es fácil de entender si se tiene en cuenta que los módulos utilizados para la construcción de los radios son diseñados especialmente para trabajar en conjunto y todas sus características son previamente configuradas para ello por el fabricante.

Por otra parte el valor de potencia obtenido con este montaje, es un valor que esta acorde con los requerimientos del trabajo, a pesar de que no es el valor que debía entregar el módulo transmisor utilizado que era de 500mW (ver anexo A). La diferencia entre el valor medido y el valor que teórico de operación del módulo puede atribuirse a pérdidas debidas al montaje del circuito, o al hecho de que el módulo no estuviese operando a su máximo rendimiento, tomando como base para esta afirmación que la frecuencia de operación que presentaba el radio no era la frecuencia de operación del módulo indicada por el fabricante.

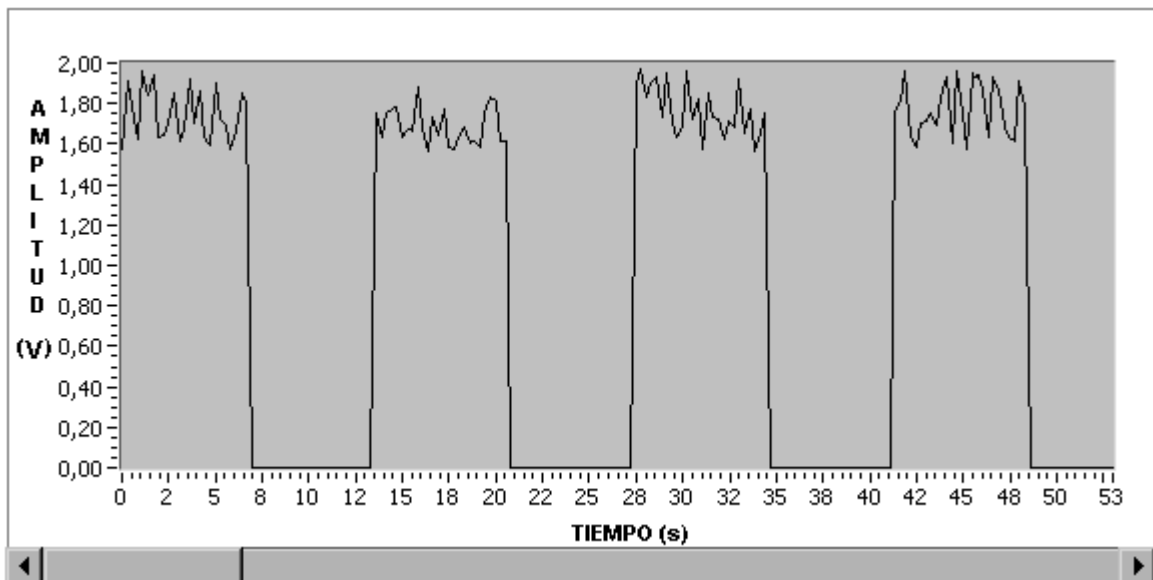


Figura 5.9. Recuperación de una señal cuadrada con el transmisor *TLP434A-0.5W*



En la figura 5.9 se puede observar que al recuperar una señal cuadrada con el módulo *TLP434A-.05W*, esta señal es de mejor calidad que las obtenidas con el módulo *TLP* de baja potencia, el ruido es mucho menor, es decir que no se presentan muchos picos de distorsión en la señal, sin embargo este ruido no es eliminado completamente. La reducción de este ruido se debe principalmente a que a este módulo no se le realiza el acople de ninguna etapa de potencia adicional que pudiese generar inconvenientes de inestabilidad o desacople en el circuito, además se debe tener en cuenta que este híbrido está trabajando en una frecuencia muy cercana a su frecuencia de operación, lo que optimiza su rendimiento.

La señal cuadrada recuperada es muy clara, y el voltaje pico que presenta esta muy cercano a los dos voltios, esto garantiza que es una señal que presenta mejor confiabilidad que las señales anteriores.

### **5.2.3 Resultados del radio Tx con el Módulo *TXM-433-10***

Los siguientes resultados son los más significativos en el desarrollo de este trabajo debido, a que estos fueron obtenidos con los radios diseñados con los módulos que presentaron un mejor rendimiento y mejores características en las señales adquiridas.

Estos resultados fueron obtenidos mediante el establecimiento de un radioenlace donde el elemento principal del radio transmisor era el módulo híbrido *TXM-433-10* y el elemento principal del radio receptor era el híbrido *SILRX-433-10*, estos módulos que fueron adquiridos con el fin de mejorar los resultados de este trabajo.

Para el establecimiento de este radioenlace se emuló una estación sismológica en las instalaciones del Observatorio Vulcanológico y luego esta



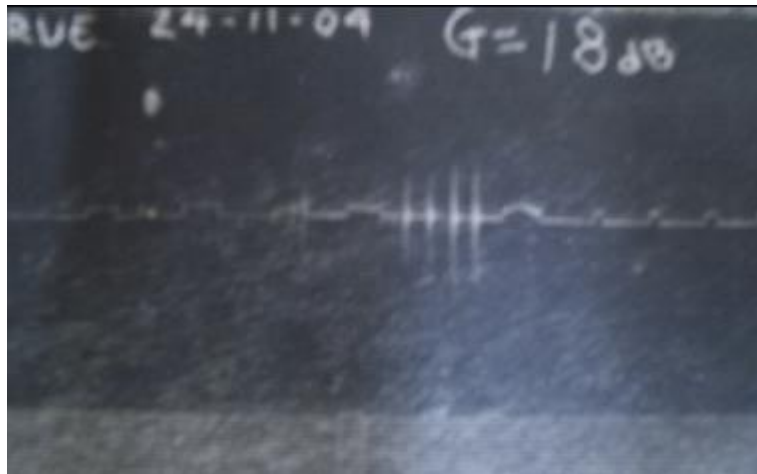
En la parte superior de esta figura se pueden apreciar pruebas de calibración que fueron efectuadas a la estación sismológica emulada y puesta en funcionamiento en campo, que tenía implementado el radio transmisor construido con el módulo *TXM-433-10*.

Estas pruebas de calibración fueron desarrolladas mediante la variación de los niveles de ganancia del VCO y los voltajes del calibrador, pero manteniendo fijos los niveles de ganancia del registrador, de ellas se pueden rescatar los niveles de ganancia que debe presentar el VCO para que la señal que transmite la estación sature el registrador, los valores de ganancia de saturación son los que se presentan al final de cada secuencia de una señal, por ejemplo la segunda secuencia de la primera línea satura a un nivel de ganancia del VCO de 42dB y la tercera secuencia a 36dB. Esto es importante debido a que un registrador que este trabajando cerca de su punto de saturación puede estar registrando una información defectuosa acerca de un evento determinado, y además ante la ocurrencia de un evento de gran magnitud este dispositivo no lo va a alcanzar a registrar.

De las pruebas de calibración se puede decir que son pruebas claras en su gran mayoría, con trazos bien definidos con excepción de la señal que satura a los 42dB del VCO con un voltaje de 1mv, que aparece en penúltima línea y presenta un poco de distorsión hasta los 30dB del VCO si se compara con las demás señales. Esta fue una distorsión pasajera del sistema causada por una mala manipulación en la estación, por lo que no fue necesario dedicarle mucho tiempo a su solución, y con un simple ajuste se pudo volver a obtener una buena adquisición de pruebas de calibración.

Una vez realizadas todas las pruebas de calibración a la estación se realizó un registro continuo de las señales que eran emitidas por esta, este registro puede apreciarse en la parte inferior de la figura 5.10, en el se observa una

línea base bastante clara y algunas alteraciones de esta línea base que eran causadas por el paso de personas que transitaban cerca al lugar donde estaba emplazada la estación, este registro fue llevado a cabo por 4 horas aproximadamente, de la figura también se puede rescatar que el VCO presentaba un nivel de ganancia en campo de 48dB y una ganancia de registrador de 12dB, estos valores fueron fijados mediante ordenes emitidas por uno de los realizadores de este trabajo desde el Observatorio de Popayán hasta campo de acuerdo a su criterio.



**Figura 5.11 Pruebas de alta obtenidas sobre el registrador con el radioenlace remoto establecido**

La figura 5.11 muestra el arribo de cuatro pruebas de alta que fueron registradas en papel ahumado en las Instalaciones del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, estas pruebas de alta como ya se había mencionado son importantes debido a que permiten verificar que el sensor esta correctamente conectado a la estación y que todos los dispositivos de esta están funcionando correctamente.

Estas pruebas se obtuvieron de una estación etiquetada con el nombre prueba que presentaba una ganancia de registrador de 18dB y una ganancia de 36dB en el VCO.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se logró construir una pareja de radios prototipo transmisor –receptor, con la que se realizó el establecimiento de un radioenlace entre una estación sismológica emulada en campo y las instalaciones del Observatorio Vulcanológico de Popayán. Mediante este enlace fue posible realizar la adquisición de una serie de señales que permitieron verificar el correcto funcionamiento de los radios construidos durante el trabajo.
2. Se logró desarrollar una aplicación gráfica mediante la cual se realizó la adquisición de una serie de señales que eran transmitidas a través de los radios prototipo construidos en la primera fase del trabajo, estas señales sirvieron para determinar la no factibilidad del establecimiento de radioenlaces entre un sitio remoto y las instalaciones del Observatorio Vulcanológico, con algunos radios prototipo construidos.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo VI, se puede decir que el radioenlace establecido presentó pocas pérdidas en la línea de transmisión y además que los niveles de potencia obtenidos en este radioenlace están acordes a los fijados en los requerimientos. Además es importante tener en cuenta que el valor del margen de umbral del receptor es pequeño comparado con la potencia de entrada del receptor, esto permite decir que la recepción de las señales fue buena y acorde a una buena operación de los dispositivos construidos en el radioenlace establecido.

4. Las señales de calibración obtenidas sobre papel ahumado en el registrador PS2, sirvieron para verificar los niveles de ganancia donde el sistema se satura, estos niveles son de vital importancia para confirmar que se encuentre operando en una forma adecuada, y corroborar que las señales que sean enviadas de la estación al Observatorio Vulcanológico sean de la mejor calidad posible.
  
5. Poder disponer de radios como los construidos en este trabajo, es de gran importancia para los Observatorios Sismológicos del País, debido a que con este tipo de dispositivos se esta actualizando de cierta manera el sistema de telemetría con el que trabajan estos Observatorios, además de tener mas elementos que pueden permitir en cualquier momento aumentar el área de cobertura de monitoreo de acuerdo a la disponibilidad del equipo restante que conforma una estación sismológica.
  
6. Para futuros trabajos en esta área se recomienda que se puedan ejercer acciones de telecontrol sobre la estación, como por ejemplo dejar fuera de funcionamiento las baterías un tiempo determinado, para que de este modo el envío de personal técnico a campo sea solamente en casos extremadamente justificados, esto minimizaría costos de mantenimiento y posibles riesgos que pueden sufrir los técnicos en algunas regiones de nuestra geografía.

## 7 REFERENCIAS

1. Abrie, P.L.D (1985) The Desing of impedance-Matching Networks for Radio-Frequency and Microwave Amplifiers, Artech House, Inc.
2. Balanis, Constantine (1997) Antenna Theory, Analisis and Desing segunda edición, John Wiley & sons.
3. Bertoni, Henry L (2000) Radio Propagation For Modern Wireless Systems, Prentice Hall.
4. Bracewell, R (1965) The Fourier Transform and Some of its Applications, McGraw-Hill Book Co.
5. Cardona, Carlos E (1998) Caracterización de Fuentes Sísmicas en el Volcán Puracé, Programa de Geología (Tesis de Pregrado), Universidad de Caldas, Manizales.
6. Crespo Cadenas, Carlos (2003) Apuntes de Radiación y Radiocomunicación, Escuela Superior de ingenieros, Universidad de Sevilla.
7. Cheng, David (1998) Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería, Pearson.
8. Gordon B, Bowden (2003) Calibration of Geophone Microseismic Sensors, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University.
9. Hardy, James K (1979) High Frequency Circuit Desing, Reston Publishing Company, Prentice Hall.
10. Hetch, E (1998) Óptica, Adison Wesley, Madrid, España.
11. Hwei P, Hsu (2003) Schaum's Outline of Theory and Problems of Analog and Digital Communications, McGraw-Hill.
12. Kinematics (1991) Operating Instructions Model *TH-11* Telemetry Housing, Pasadena California.

13. Kinemetrics (1991) Operating Instructions *AM2- Amplifier/Filter, DM-2 Discriminador Module, PS-2 Portable Seismic Recording Instrument and OM-2 VCO*, Pasadena California.
14. Jonhk, Carl (2001) *Teoría Electromagnética, ondas y campos*, Limusa.
15. Labán Tocto, David (2003) *Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos por Telemetría en la Red Sísmica del Norte de Perú*, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
16. Later, J.H (1979) *Volcanological observations at Tongarino National Park, Chapter 2 types and classification of volcanic earthquakes*, Report 150 Geophysics Division, Departament of scientific and industrial research, New Zeland.
17. Les W, Barclay (2003) *Propagation of Radiowaves 2nd Edition*, Institution of Electrical Engineers.
18. Malone, S (1983) *Volcanic earthquakes: examples from mount st Helens*, University of Washington. p.p 1-33.
19. Girón, L. A, Racedo N. F, Solís A. F, *Construcción de radios prototipo para el monitoreo de sismicidad que adelanta el Observatorio Vulcanologico de Ingeominas Popayán*, Grupo de Electrónica del Estado Sólido, I Congreso Latinoamericano de Sismología, Armenia Colombia, Agosto 2004.
20. Meléndez Esquivel, Mario (2001) *El Espectro Electromagnético*, Curso Radio Club, San José, Costa Rica.
21. Minakami, T (1974) *Seismology of Volcanoes in Japan*, Physical Volcanology, Elsevier Ámsterdam. p.p 1-28.
22. Monitron Corporation (1986) *Intruccion Manual UHF NBFM Transmitter and Receiver Model T45F, and R45F*.
23. Neri, Rodolfo (1999) *Lineas de Transmision*, McGraw-Hill.
24. Ortiz, Ramón (1997) *Instrumentación en Volcanología Tomos I, II*, Teide European Laboratory Volcano.

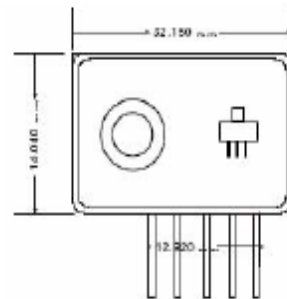


25. Payo Subiza, Gonzalo (1986) Introducción al análisis de Sismogramas, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, España.
26. Serway, Raymond A (1997) Física Tomos I, II Cuarta edición, McGraw-Hill.
27. Siwiak, Kazimierz (1998) Radiowave Propagation And Antennas For Personal Communications, Artech House, Inc.
28. Stremler, F (1998) Introducción a los Sistemas de Comunicación, McGraw-Hill.
29. Treviño Cortes, J.T (2003) Propagación de *RF* en las bandas *LF*, *MF*, *HF*, *VHF*, *UHF*, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla, México.
30. Udías, A; Muñoz D; Buforn E (1985) Mecanismos de los terremotos y tectónica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense, Madrid.
31. Romo R, Harold (2000) Fundamentos de Radiopropagación para Onda Terrestre y Línea de Vista, Universidad del Cauca, Colombia.

## Anexo A Datasheet TLP434A-0.5W

	<b>TLP 434A – 0.5W</b> <b>Datasheet &amp; Schematics</b>
---	---

- Frequency : 433.92 MHZ
- Modulation: ASK
- Circuit Shape: SAW
- Data Rate: 8K bps
- Supply Voltage: +5V
- Power Supply range for I/O pins: 0 to 5 V
- Non-Operating Case Temperature: -20 to +85 C
- Soldering Temperature ( 10 Seconds ) : 230 C



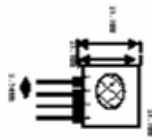
Absolute Maximum Ratings		
Rating	Value	Unit
Power Supply and All Input/Output Pins	6.5	V
Non-Operating Case Temperature	-20 to +85	C°
Soldering Temperature(10 seconds)	230	C°

Electrical Characteristics,	T=25 , Vcc=5v, Freq=433.92MHZ				
	Sym	Min.	Typ.	Max.	Unit
pin 1 : GND Characteristic	Sym				
Operating Frequency (200KHZ)	Freq		433.92		MHZ
Data Rate	ASK			8	Kbps
Transmitter					
Performance(OOK@2.4kbps)					
Peak Input Current,5Vdc Supply	ITP			170	mA
Peak Output Power	PO		500		mW
Turn On/ Turn Off Time	T ON/T OFF			1	uS
Power Supply Vo Itage Range	Vcc	3.5	5.0	6.5	Vdc
Operating Ambient Temperature	TA	-20		+85	
Tx Antenna Out 3V ~12V	dB	-1.7		17	dB

## Anexo B Datasheet TLP434A y RLP434A

### TLP434A & RLP434A RF ASK Hybrid Modules for Radio Control ( New Version )

#### TLP434A Ultra Small Transmitter



pin 1: GND  
pin 2: Data In  
pin 3: Vcc  
pin 4: Antenna ( RF output )

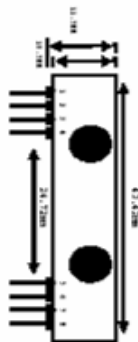
**Frequency 315, 418 and 433.92 Mhz**

Modulation : ASK  
Operation Voltage : 2 - 12 VDC

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Operating supply voltage		2.0	-	12.0	V
Icc 1	Peak Current (2V)		-	-	1.64	mA
Icc 2	Peak Current (12V)		-	-	19.4	mA
V <sub>H</sub>	Input High Voltage	Data = 100uA (High)	Vcc-0.5	Vcc	Vcc+0.5	V
V <sub>L</sub>	Input Low Voltage	Data = 0 uA (Low)	-	-	0.3	V
F <sub>0</sub>	Absolute Frequency		314.8	315	315.2	MHz
P <sub>0</sub>	RF Output Power-500uW	Vcc = 9V-12V	-	16	-	dBm
		Vcc = 5V-6V	-	14	-	dBm
DR	Data Rate	External Encoding	512	4.8K	200K	bps

Notes : ( Case Temperature = 25°C ± 2°C , Test Load Impedance = 50 Ohm )

#### RLP434A SAW Based Receiver



pin 1: Gnd  
pin 2: Digital Data Output  
pin 3: Linear Output Test  
pin 4: Vcc  
pin 5: Vcc  
pin 6: Gnd  
pin 7: Gnd  
pin 8: Antenna

**Frequency 315, 418 and 433.92 Mhz**

Modulation : ASK  
Supply Voltage : 3.3 - 6.0 VDC  
Output : Digital & Linear

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Operating supply voltage		3.3	5.0V	6.0	V
Icc	Operating Current		-	4.5	-	mA
V <sub>H</sub>	Data Out	Data = +200 uA ( High )	Vcc-0.5	-	Vcc	V
		Data = -10 uA ( Low )	-	-	0.3	V

Electrical Characteristics						
Characteristics	SYM	Min	Typ	Max	Unit	
Operation Radio Frequency	FC	315, 418 and 433.92			MHz	
Sensitivity	Pref		-110		dBm	
Channel Width			±500		KHz	
Noise Equivalent BW			4		KHz	
Receiver Turn On Time			5		ms	
Operation Temperature	Top		-20		C	
Baseband Data Rate			4.8		KHz	

## Anexo C Datasheet TXM-433-10

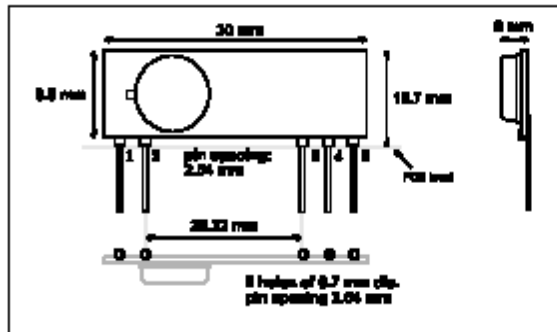
# Radiometrix

Hartran House, Gibbs Couck, Watford, WD19 5EZ, England  
 Issue 5, February 2002    Tel: +44 (0) 20 8428 1220, Fax: +44 (0) 20 8428 1221



TXM-433

### UHF Radio Telemetry Transmit Module



Performance data TXM-418-10 and TXM-433-10

**Absolute Maximum Ratings:**

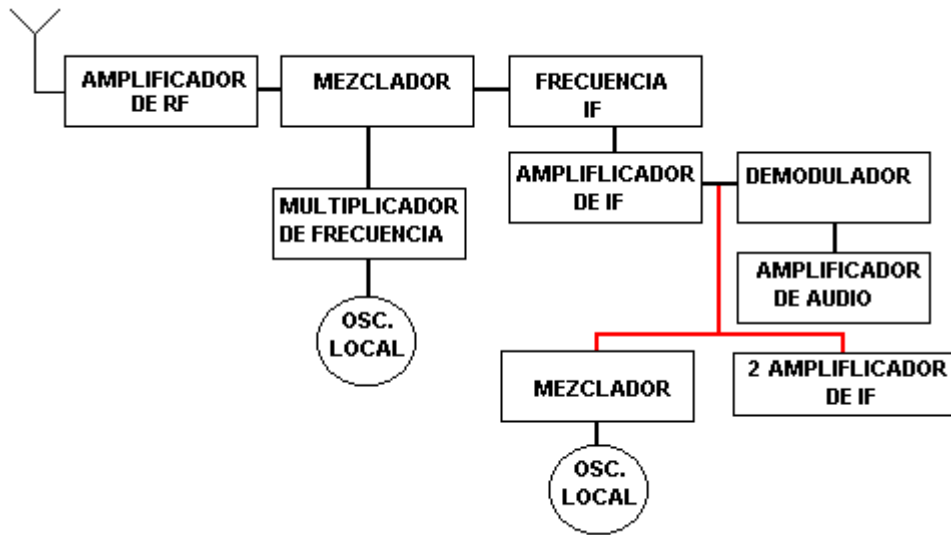
Supply voltage $V_{cc}$	pin 3	-0.7	to	+6V
Modulation input	pin 5	-0.7	to	+13V
Operating temperature		-10°C	to	+55°C
Storage temperature		-40°C	to	+100°C

**Performance Data:**

ambient temperature:	20 °C
supply voltage:	3.0V, unless noted otherwise
test circuit:	figure 4

Parameter	Min	Typical	Max	Units
Operating supply range ( $V_{cc}$ )	2.7	3.2	4	V
Supply current, $V_{cc} = 2.7V$	3.0	6.0	13.0	mA
$V_{cc} = 4.0V$	5.0	10.0	17.0	mA
Conducted power in to 50 $\Omega$ , $V_{cc} = 2.7V$	-	-5	-	dBm
$V_{cc} = 3.6V$	-	0	-	dBm
Transmit frequency ( $F_{rf}$ )		433.92		MHz
Initial frequency accuracy	-85	0	+85	kHz
Overall frequency accuracy	-95	0	+95	kHz
Spurious radiation				
FM deviation (+/-)	15	25	40	kHz
Modulation Bandwidth (-3dB) analogue	DC	-	20	kHz
Modulation digital pulse width	50	-	-	$\mu s$

**Anexo D Diagrama en Bloques de un Receptor Superheterodino**



## Anexo E Datasheet SILRX-433-10

# Radiometrix

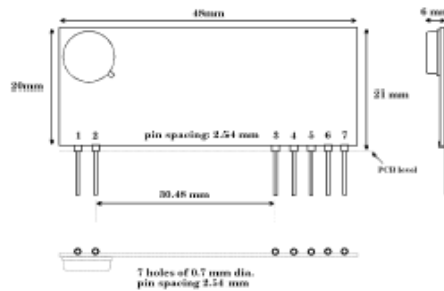
Hartcran House, Gibbs Crouch, Watford, WD19 5EZ, England

Issue 3, 13 April 2001 Tel: +44 (0) 20 8428 1220, Fax: +44 (0) 20 8428



SILRX-UHF

### UHF Radio Telemetry Receiver Module



#### Performance data SILRX-418-10 and SILRX-433-10

ambient temperature: 20°C

supply voltage: +5V

test circuit: fig. 2

Parameter		Min.	Typical	Max.	Units
Operating voltage range (Vcc)	pin 5	4.0	5.0	9.0	V
Supply current	pin 5	11	14	17	mA
Receive frequency		-	433.92	-	MHz
Overall frequency accuracy		-100	0	+100	kHz
Sensitivity for 20 dB S/N	pin 1	-	1.0	2.0	µV
Carrier detect, threshold	pin 1	-	2.0	4.0	µV
RF input impedance	pin 1	-	50	-	Ω
IF bandwidth		-	250	-	kHz
AF output level	pin 6	-	500	-	mV <sub>pp</sub>
AF bandwidth	pin 6	DC	-	20	kHz
Frequency/voltage conversion	pin 6	-	10	-	mV/kHz
Data output, Logic low	pin 7	0	0.2	0.8	V
Logic high	pin 7	4.0	4.5	5	V
Data bit duration		0.05	-	2	ms
Data Mark:Space		20%	-	80%	
Data settling time	pin 7	-	-	5	ms
(minimum preamble duration)					
Enable time	pin 3	-	-	1	ms
Signal detect time	pin 3	-	-	0.3	ms

#### Absolute maximum ratings:

Supply voltage Vcc, pin 5	-0.3	to	+10	V
Operating temperature	-10°C	to	+50°C	
Storage temperature	-40°C	to	+100°C	
RF input, pin 1	0			dBm
Any input or output pin	-0.3	to	Vcc V, ±10	mA

## **Anexo F Definiciones de dB, dBm y dBw**

Un dB es el valor logarítmico de la razón de la potencia de salida y la potencia de entrada así:

$$dB( ) = 10 \text{Log} \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

dBm es la razón logarítmica de la potencia relativa de 1mw en 50Ω de este modo se tiene que:

$$0dBm = 1mw \text{ en } 50 \Omega$$

Finalmente,

dBw es la razón logarítmica de la potencia relativa de 1w en 50 Ω, de este modo se tiene que:

$$0dBw = 1w \text{ en } 50 \Omega,$$

y

$$0dBw = 30dBm$$