



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES Y REDES

PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS INTEGRAL DE UN SISTEMA
ENTRENADOR DE COMUNICACIONES SATELITALES Y DE
TELEFONÍA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES DE
LA EIE-TR

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: POSLIGUA SANCHEZ DENNY DAMIAN

TUTOR: Ing. PAÚL DAVID MORENO A. PhD.

Riobamba-Ecuador

2018

@2018, Denny Damian Posligua Sanchez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: PUESTA EN MARCHA Y ANÁLISIS INTEGRAL DE UN SISTEMA ENTRENADOR DE COMUNICACIONES SATELITALES Y DE TELEFONÍA PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES DE LA EIE-TR, de responsabilidad del señor Denny Damian Posligua Sanchez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillán VICEDECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Patricio Romero DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Paul David Moreno PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Mónica Zabala H. Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, Denny Damian Posligua Sanchez soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DENNY DAMIAN POSLIGUA SANCHEZ

DEDICATORIA

A Dios por colmarme de muchas bendiciones. A mis padres Denny Posligua y Martha Sanchez por ser un pilar fundamental en mi vida, por brindarme su apoyo, amor y dedicación incondicional, por ofrecerme su ayuda y la posibilidad de realizarme profesionalmente estando presentes siempre en cada etapa de mi vida. A mi hermano y familia por estar presente y apoyarme de manera incondicional en los momentos difíciles. A mi esposa e hijo por la motivación para seguir adelante en mis nuevas metas, a mi familia en general les dedico este trabajo de titulación.

Denny

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un sincero agradecimiento a Dios, por permitirme culminar mi carrera universitaria reflejada en el presente trabajo de titulación y no dejarme desmayar en el propósito de estancia en esta ciudad, guiando cada paso en mi vida. A mis padres porque día a día con su infinito amor y confianza han sido la base fundamental para conseguir éste logro, dándome la fortaleza para seguir adelante. A mi Tutor, el Ing. David Moreno que me brindó su apoyo conjuntamente con sus conocimientos y paciencia, haciendo posible el desarrollo y presentación del presente proyecto.

Denny

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xxv
RESÚMEN.....	xxv
SUMARY.....	xxvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Fundamentos de las comunicaciones satelitales.....	1
1.1.1 <i>Satélite</i>	1
1.1.2 <i>Clasificación</i>	1
1.1.3 <i>Segmentación de un sistema de comunicaciones por satélite</i>	2
1.1.4 <i>Funcionamiento básico de un satélite</i>	3
1.1.5 <i>Señal de banda base</i>	5
1.1.6 <i>Frecuencia intermedia</i>	6
1.1.7 <i>Portadora</i>	6
1.1.8 <i>Banda de radio frecuencia</i>	6
1.2 Fundamentos de telefonía.....	7
1.2.1 <i>Terminal Telefónico</i>	7
1.2.2 <i>Señalización entre centrales y teléfonos analógicos</i>	7
1.2.3 <i>Transmisión de señal de voz</i>	7

1.2.4	<i>Red telefónica publica conmutada</i>	8
1.2.5	<i>Red digital de servicios integrados</i>	8
1.2.6	<i>PABX</i>	9
1.2.7	<i>Procesador de señales digitales (DPS)</i>	9
1.3	Señal analógica	9
1.3.1	<i>Modulación analógica</i>	10
1.4	Señal Digital	15
1.4.1	<i>Modulación digital</i>	16
1.5	Festo Didactic	18
1.5.1	<i>Misión</i>	18
1.5.2	<i>Visión</i>	18
1.5.3	<i>Lab-Volt</i>	19
1.6	Sistema de formación de comunicaciones por satélite	19
1.6.1	<i>Estación terrena transmisora</i>	19
1.6.2	<i>Estación terrena receptora</i>	20
1.6.3	<i>Estación Satelital</i>	21
1.7	Telemetría e instrumentación ADD-ON	21
1.8	Características y rendimiento del enlace	23
1.8.1	<i>Enlaces de comunicaciones</i>	23
1.8.2	<i>Ganancia de potencia</i>	23
1.8.3	<i>Polarización</i>	23
1.8.4	<i>Antena del sistema entrenador de comunicaciones satelitales</i>	24
1.9	LVSat Software Suite	25
1.9.1	<i>LVsat – Telemetría e instrumentación</i>	25
1.9.2	<i>LVsat - Transferencia de datos</i>	26
1.9.3	<i>LVsat - Simulador de órbitas</i>	27
1.10	Sistema didáctico de telefonía	27

1.10.1	<i>Módulo didáctico reconfigurable</i>	28
1.10.2	<i>Interfaz de línea analógica doble</i>	28
1.10.3	<i>Interfaz de teléfonos digitales</i>	29
1.10.4	<i>Interfaz de enlace analógico de PABX</i>	30
1.10.5	<i>Interfaz de enlace digital</i>	30
1.10.6	<i>Teléfonos Analógicos y Digitales</i>	31
1.10.7	<i>Fuente de alimentación CA/CC modelo 9408</i>	32
1.11	Software LVTTS	33
 CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	35
2.1	Preparación y arranque del sistema	35
2.1.1	<i>Armada y conexión de componentes</i>	35
2.1.2	<i>Montaje del sistema satelital</i>	35
2.2	Instalación de software LVSAT software suite	36
2.3	Función de telemetría e instrumentación LVSAT asistida por el ordenador	36
2.3.1	<i>Osciloscopio</i>	36
2.3.2	<i>Analizador de espectros</i>	37
2.3.3	<i>Medidor de potencia y voltímetro RMS</i>	38
2.3.4	<i>Verificador de tasa de error de bit</i>	39
2.4	Análisis de funcionamiento del sistema entrenador satelital	39
2.4.1	<i>Sistemas de comunicación satelital</i>	40
2.4.2	<i>Estación terrena satelital</i>	47
2.4.3	<i>Carga útil y telemetría satelital</i>	48
2.4.4	<i>Procesamiento y modulación de banda de base analógica</i>	49
2.4.5	<i>Procesamiento de banda de base digital</i>	55
2.4.6	<i>Modulación digital</i>	71
2.4.7	<i>Codificación diferencial</i>	76

2.4.8	<i>Transmisión y recepción de audio analógico</i>	78
2.5	Análisis de funcionamiento del software simulador de órbitas y cobertura satelital ...	78
2.5.1	<i>Tipos de órbitas</i>	79
2.5.2	<i>Forma y tamaño de la órbita</i>	79
2.5.3	<i>Orientación y posición de órbita</i>	82
2.5.4	<i>Cobertura del satélite GEO</i>	83
2.5.5	<i>Cobertura del satélite Cuasi Zenith</i>	84
2.5.6	<i>Cobertura del satélite LEO</i>	84
2.5.7	<i>Cobertura del satélite MEO</i>	85
2.6	Análisis de funcionamiento sistema didáctico de telefonía	85
2.6.1	<i>Montaje e Instalación del sistema</i>	85
2.6.2	<i>Acceso analógico a la red telefónica</i>	86
2.6.3	<i>Operación de una central telefónica</i>	97
2.6.4	<i>Central Telefónica Automática Privada (PABX)</i>	108
CAPÍTULO III		
3	ANÁLISIS Y MARCO DE RESULTADOS	116
3.1	Parámetros de antenas y ganancias	116
3.1.1	<i>Pérdidas por línea de alimentación</i>	116
3.1.2	<i>Ganancia del repetidor</i>	117
3.1.3	<i>Ganancia de convertidor de nivel descendente 2</i>	118
3.1.4	<i>Ganancia de las antenas</i>	118
3.1.5	<i>Ganancia teórica</i>	121
3.1.6	<i>Apertura efectiva y eficiencia de antena</i>	122
3.1.7	<i>Ancho del haz y patrón de radiación</i>	123
3.1.8	<i>Pérdidas, potencia radiada y recibida</i>	125
3.1.9	<i>Figura de ruido</i>	128
3.1.10	<i>Figura de ruido del receptor y la temperatura efectiva del ruido de entrada</i>	129

3.1.11	<i>Temperatura de ruido del sistema</i>	130
3.2	Parámetros de medición en el sistema didáctico de telefonía	130
3.2.1	<i>Tensión Umbral de Timbre</i>	130
3.2.2	<i>Componentes de frecuencia de tonos de marcado.</i>	131
3.2.3	<i>Pulsos de marcación.</i>	132
3.2.4	<i>Frecuencias e intervalos de modulación</i>	132
CONCLUSIONES		133
RECOMENDACIONES		134
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Bandas y rangos de frecuencia en comunicaciones satelitales	6
Tabla 2-1.	Coefficientes de Bessel como función del índice de modulación.....	14
Tabla 3-1.	Frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente del equipo satelital.	25
Tabla 1-2.	Configuración de transmisor de estación terrena.....	43
Tabla 2-2.	Configuración del receptor de estación terrena.	43
Tabla 3-2.	Configuración del generador de secuencia binaria	45
Tabla 4-2.	Configuración de estación transmisora y receptora	45
Tabla 5-2.	Niveles de Frecuencias y potencia de portadora para cada canal de transmisión.....	48
Tabla 6-2.	Ganancia del satélite repetidor.....	49
Tabla 7-2.	Ancho de banda de una señal Fm de 500 kHz.	53
Tabla 8-2.	Configuración de generador de onda.	54
Tabla 9-2.	Configuración de secuencia binaria.....	56
Tabla 10-2.	Configuración de secuencias binaria salidas digitales	59
Tabla 11-2.	Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor y receptor.	63
Tabla 12-2.	Configuración de secuencias binaria salidas digitales	64
Tabla 13-2.	Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.	64
Tabla 14-2.	Configuración de secuencia binaria salida digital.	67
Tabla 15-2.	Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.	67
Tabla 16-2.	Configuración equipo transmisor.....	71
Tabla 17-2.	Configuración de secuencia binaria salida digital.	72
Tabla 18-2.	Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.	73
Tabla 19-2.	Determinación del cambio de fase de dibit.....	77
Tabla 20-2.	Tipos de órbita y elementos orbitales	79
Tabla 21-2.	Comparación de información de parámetros esperados y calculados.....	84
Tabla 22-2.	Periodos y tiempo de viabilidad e intervalo de vista para un satélite LEO	85

Tabla 23-2.	Periodo y tiempos de avistamiento en intervalo de vista de un satélite MEO	85
Tabla 24-2.	Tonos de progreso de llamada e intervalos y componentes de frecuencia	100
Tabla 25-2.	Acción y función del registro de procesador de llamadas	105
Tabla 26-2.	Acción y función del registro de procesador de llamadas	105
Tabla 1-3.	Perdida por línea de alimentación (longitud de cable), enlace de subida y bajada.	116
Tabla 2-3.	Perdida por Longitud de cable en FI 2.....	116
Tabla 3-3.	Pérdida por Longitud de cable en FI 1.....	117
Tabla 4-3.	Ganancia del satélite repetidor.....	117
Tabla 5-3.	Ganancia del satélite repetidor considerando pérdidas por cable	117
Tabla 6-3.	Ganancia de convertidor de nivel descendente 2.....	118
Tabla 7-3.	Ganancia de antena de bocina de gran apertura, en frecuencia de subida.	119
Tabla 8-3.	Ganancia de antena de bocina de apertura pequeña, en frecuencia de bajada.	120
Tabla 9-3.	Ganancia de antena de bocina de gran apertura, en frecuencia de bajada.	121
Tabla 10-3.	Ganancia de antena de bocina de larga apertura teórica	121
Tabla 11-3.	Ganancia de antena de bocina de apertura pequeña teórica.....	122
Tabla 12-3	Ancho de banda a 3 dB.....	124
Tabla 13-3.	Datos de patrón de radiación de antena.	124
Tabla 14-3.	Datos de patrón de radiación de antena.	126
Tabla 15-3.	Potencia en receptor RF input.....	126
Tabla 16-3.	Pérdidas en el espacio libre medidas	127
Tabla 17-3.	Valor teórico de pérdidas en el espacio libre	127
Tabla 18-3.	Ganancia máxima de interfaz del receptor RF.....	128
Tabla 19-3.	Cálculo de ganancia de preamplificador.....	129
Tabla 20-3.	Potencia de ruido de salida del receptor	129
Tabla 21-3.	Voltaje umbral y voltajes en la línea de transmisión.	130
Tabla 22-3.	Frecuencia y nivel de potencia de señal DTMF.	131

Tabla 23-3. Parámetros en pulsos de marcación.....	132
Tabla 24-3. Intervalo de modulación y frecuencias de componentes espectrales.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Segmentación de un sistema de Comunicaciones Satelitales	2
Figura 2-1. Carga transparente o repetidor.....	4
Figura 3-1. Carga útil regenerativa.	4
Figura 4-1. Transmisión de señal telefónica	7
Figura 5-1. Espectro de moduladora y portadora.....	10
Figura 6-1. Generador de AM.....	11
Figura 7-1. Detector de envolvente.....	11
Figura 8-1. Demodulación coherente de AM completa	12
Figura 9-1. FM con una señal moduladora senoidal de banda base.....	13
Figura 10-1. Relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador BPSK.....	17
Figura 11-1. Fase de salida en función del tiempo para un modulador QPSK	18
Figura 12-1. Equipo transmisor de estación terrena, 9570.....	20
Figura 13-1. Equipo receptor de estación terrena, 9571.	20
Figura 14-1. Equipo repetidor satelital, 9572.....	21
Figura 15-1. Equipo de telemetría e instrumentación	21
Figura 16-1. Instrumento virtual modelo 1250-A0.	22
Figura 17-1. Guía de Onda polarizada horizontal y verticalmente.	24
Figura 18-1. Antena de bocina ensamblada.	24
Figura 19-1. Interfaz de LVSAT-Telemetría e Instrumentación.....	26
Figura 20-1. LVsat - Transmisor y Receptor de Datos.	26
Figura 21-1. Interfaz de LVSAT- Simulador de Órbitas.	27
Figura 22-1. Sistema Didáctico de telefonía modelo 8086.	27
Figura 23-1. Módulo MDR, modelo 9431	28
Figura 24-1. Interfaz de línea analógica doble modelo 9475.....	29
Figura 25-1. Interfaz de teléfonos digitales modelo 9476.....	30

Figura 26-1. Interfaz de enlace analógico de PABX modelo 9477	30
Figura 27-1. Interfaz de enlace digital modelo 9478	31
Figura 28-1. Teléfono analógico modelo 9485	32
Figura 29-1. Teléfono digital modelo 9486	32
Figura 30-1. Fuente de alimentación CA/CC modelo 9408.....	33
Figura 31-1. Interfaz de LVTTS - Central telefónica.....	33
Figura 32-1. Interfaz de LVTTS - Central telefónica automática privada.	34
Figura 1-2. Armada de componentes.	35
Figura 2-2. Montaje de equipos	36
Figura 3-2. Interfaz de instrumento virtual del osciloscopio.	37
Figura 4-2. Interfaz de instrumento virtual del analizador de espectros.	38
Figura 5-2. Interfaz de instrumento virtual del medidor de potencia y multímetro	39
Figura 6-2. Interfaz de instrumento virtual de verificador de BER.....	39
Figura 7-2. Diagrama de conexión para alineación de antenas	40
Figura 8-2. Nivel de potencia en alineación.....	41
Figura 9-2. Diagrama de conexiones para transmisión de señal analógica.....	41
Figura 10-2. Señal sinusoidal transmitida y recibida.	42
Figura 11-2. Diagrama de conexión mínimas para bloquear el bucle costas QPSK.....	43
Figura 12-2. Led encendido de bloqueo de bucle costas.....	44
Figura 13-2. Diagrama de conexión mínima para bloqueo del bucle costas.....	44
Figura 14-2. Transmisión y recepción de secuencia binaria	46
Figura 15-2. Transmisión y recepción sin bloqueo del bucle costas.....	46
Figura 16-2. Diagrama de Conexión mediciones de frecuencias	47
Figura 17-2. Diagrama de conexión medición con analizador del instrumento virtual.	48
Figura 18-2. Diagrama de conexión para visualización del espectro de una señal FM	49
Figura 19-2. Espectro de señal NBFM.....	50

Figura 20-2. Diagrama de bloques de WBFM de generación directa	50
Figura 21-2. Espectro de frecuencia de portadora anulada (suprimida).....	51
Figura 22-2. Espectro de FM con el primer par de bandas laterales anulado.	52
Figura 23-2. Diagrama de bloques de conexión para respuestas de impulso de filtros.....	54
Figura 24-2. Respuesta en frecuencia de filtro pre-énfasis y de-énfasis	55
Figura 25-2. Destornillador no magnético y punta de prueba atenuadora.	56
Figura 26-2. Punta de prueba compensada.....	57
Figura 27-2. Multiplexador de 4-1	57
Figura 28-2. Reloj de encuadre y reloj de bit.....	58
Figura 29-2. Diagrama de conexione para transmisión de señal con multiplexación por división de tiempo.	59
Figura 30-2. Reloj de encuadre y salida del TDM MUX.....	60
Figura 31-2. Reloj de bit y salida del TDM MUX.....	60
Figura 32-2. Trama completa entre pulsos de Reloj de encuadre	61
Figura 33-2. Reloj de encuadre y reloj de bit.....	62
Figura 34-2. Reloj de encuadre en transmisor y bit de encuadre en receptor.	64
Figura 35-2. Datos multiplexados y codificados.....	65
Figura 36-2. Señales del Reloj y trama codificadora y Reloj y trama decodificadora.....	66
Figura 37-2. Diagrama de conexión para transmisión digital no multiplexada	67
Figura 38-2. Aleatorización de un flujo de datos.	68
Figura 39-2. Secuencia de datos aleatorizada y recuperada.....	69
Figura 40-2. Impulsos de entrada en desaleatorizador y respuesta de impulso.	69
Figura 41-2. Señal en dominio de frecuencia sin aleatorización.....	70
Figura 42-2. Señal en dominio de frecuencia aleatorizada.	71
Figura 43-2. Salida del Convertidor de señal serial a paralelo condición 2.	72
Figura 44-2. Salida del convertidor de señal serial a paralelo condición 1.....	73
Figura 45-2. Pulso bipolar canal I.....	74

Figura 46-2. Pulso bipolar canal Q.	74
Figura 47-2. Pulso bipolar filtrado canal I	75
Figura 48-2. Pulso bipolar filtrado canal Q.....	76
Figura 49-2. Diagrama de conexión para transmisión digital no multiplexada.	76
Figura 50-2. Conexión básica para transmitir audio en el equipo transmisor satelital.....	78
Figura 51-2. Simulación de 5 satélites artificiales	79
Figura 52-2. Posición de órbita de un satélite con respecto a su excentricidad = 0.0	80
Figura 53-2. Posición de órbita de un satélite con respecto a su excentricidad = 0,7	80
Figura 54-2. Satélite con órbita geoestacionaria.	81
Figura 55-2. Satélite con órbita geoestacionaria.	81
Figura 56-2. Órbita satelital con inclinación orbital = 15°	82
Figura 57-2. Órbita satelital con RAAN = 45°	83
Figura 58-2. Cálculo de ángulo central y porcentaje de visibilidad de superficie terrestre.	83
Figura 59-2. Cobertura y trayectoria de una constelación de satélites Cuasi Zenith.	84
Figura 60-2. Montaje e instalación del sistema didáctico de telefonía.	86
Figura 61-2. Selección de la función del MDR.....	87
Figura 62-2. Voltajes CA del timbre en teléfono A	87
Figura 63-2. Voltaje y corriente CC en línea de abonado.....	88
Figura 64-2. Corriente CC en línea de abonado.....	88
Figura 65-2. Conversión de señal de voz a corriente eléctrica.....	89
Figura 66-2. Componentes en frecuencia de tecla "1"	89
Figura 67-2. Componentes en frecuencia de tecla "5"	90
Figura 68-2. Frecuencias del teclado telefónico.....	90
Figura 69-2. Voltaje cc y corriente cc en terminales punta y anillo.....	91
Figura 70-2. Señal en línea telefónica aplicada por el abonado A	92
Figura 71-2. Conversión de 2 a 4 hilos del SLIC.....	93

Figura 72-2. Código MIC Digitalizado.....	93
Figura 73-2. Recuperación de la señal de voz.....	94
Figura 74-2. Sincronización y Multiplexación por división del tiempo.....	95
Figura 75-2. Solicitud de servicio a la central (gancho del conmutador descolgado).....	96
Figura 76-2. Tono de progreso de llamada	97
Figura 77-2. Tono de marcación DTMF.....	97
Figura 78-2. Memoria intermedia del estado del auricular de la central telefónica.....	98
Figura 79-2. Detección de marcación por pulsos.....	99
Figura 80-2. Detección de marcación por tonos	99
Figura 81-2. Asignación manual del registro de control de conmutación.....	101
Figura 82-2. Conexión simultánea en una línea a través de.....	102
Figura 83-2. Conexión física simultánea en una línea de transmisión.....	102
Figura 84-2. Conmutación bidireccional en ventanas de tiempo 1 y 7	103
Figura 85-2. Registro del procesador de llamadas	104
Figura 86-2. Configuración del procesador de llamadas.....	106
Figura 87-2. Configuración general de central telefónica.....	107
Figura 88-2. Configuración de tonos de progreso de llamadas.....	107
Figura 89-2. Señal FSK en salida del CÓDEC de línea de abonado A.....	108
Figura 90-2. Interfaz de central telefónica automática privada PABX	109
Figura 91-2. Asignación de canal a la línea de interfaz doble	110
Figura 92-2. Asignación de ventana de tiempo a cada canal	110
Figura 93-2. Señal de voz del B1 codificada y transmitida en la ventana de tiempo 5.....	111
Figura 94-2. Señal de voz del B2 recibida en la ventana de tiempo 5	111
Figura 95-2. Memoria de la tabla de referencia de direccionamiento en la PABX.....	112
Figura 96-2. Portabilidad en memoria de la tabla de referencia de direccionamiento	112
Figura 97-2. Secuencia de señalización método de envío en bloque.....	113

Figura 98-2. Señal analógica, codificada y transmitida del Tono de llamada.....	114
Figura 99-2. Circuito de anuncios de la PABX para intercomunicación.	115
Figura 100-2. Señal analógica de voz decodificada y transmitida	115
Figura 1-3. Enlace ascendente con antenas de bocina de gran apertura.....	118
Figura 2-3. Enlace descendente con antenas de bocina de apertura pequeña.	119
Figura 3-3. Enlace descendente con antenas de bocina de gran apertura.....	120
Figura 4-3. Enlace descendente con antenas de bocina de gran apertura.....	123
Figura 5-3. Enlace descendente con antenas a diferentes distancias.....	125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Ganancia de antenas de bocina de pequeña y gran apertura 122

Gráfico 2-3. Pérdidas en el espacio libre 128

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A: Espectros y niveles de potencia de cada canal de transmisión
- ANEXO B: Espectros y niveles de potencia de cada portadora en cada canal de recepción.
- ANEXO C: Ancho de banda y valores nulos de componentes espectrales para una forma de onda sinusoidal de 0.5 MHz.
- ANEXO D: Diagrama de constelaciones y representación de cambio de fase.
- ANEXO E: Componentes en frecuencia de los tonos de progresos de llamada
- ANEXO F: Registro del procesador de llamadas para una llamada usando el método de envío en bloque.
- ANEXO G: Registro del procesador de llamadas para una llamada usando el método de envío solapado

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Ganancia del repetidor.....	49
Ecuación 2-2:	Velocidad de la trama.....	61
Ecuación 3-2:	Número de intervalo de tiempo de la trama.....	62
Ecuación 4-2:	Tiempo de bit.....	62
Ecuación 5-2:	Tiempo de secuencia.....	63
Ecuación 6-2:	Polinomio de sincronización.....	70
Ecuación 7-2:	Resistencia total de la línea.....	90
Ecuación 1-3:	Ganancia del repetidor con pérdidas en línea de transmisión.....	117
Ecuación 2-3:	Ganancia de antena de bocina.....	118
Ecuación 3-3:	Ganancia teórica de antena de bocina.....	121
Ecuación 4-3:	Apertura efectiva.....	122
Ecuación 5-3:	Eficiencia.....	122
Ecuación 6-3:	Ecuación de FRISS.....	125
Ecuación 7-3:	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva.....	125
Ecuación 8-3:	Perdidas en el espacio libre Teórica.....	127
Ecuación 9-3:	Ganancia máxima de interfaz de recepción en RF.....	128
Ecuación 10-3:	Potencia de ruido a la salida del receptor.....	129
Ecuación 11-3:	Densidad espectral de ruido.....	129
Ecuación 12-3:	Figura de ruido.....	130
Ecuación 13-3:	Factor de ruido.....	130
Ecuación 14-3:	Temperatura de ruido del sistema.....	130

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DBS	Servicio de radiodifusión satelital o servicio directo de radiodifusión
PSK	Modulación por desplazamiento de fase.
FI	Frecuencia intermedia
RF	Radio Frecuencia.
Banda X	Frecuencia comprendida entre 8 y 12 GHz
RTPC	Red Telefónica Pública Conmutada
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
PABX	Centrales telefónica automática privada.
DPS	Procesador de señales digitales
FM	Modulación en frecuencia
WBFM	Modulación FM de banda ancha
QPSK	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
DIBIT	Par de bits consecutivos
CÓDEC	Codificador/Decodificador
MIC	Modulación por impulsos codificados
TSAC	Circuito de asignación de ventanas de tiempo
IDPS	Identificador de perfil de servicio
SLIC	Circuito de interfaz con el bucle de abonado
DTMF	Señal de marcación de multifrecuencia Bitono

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la puesta en marcha del sistema entrenador de comunicaciones satelitales y del sistema didáctico analógico y digital de comunicación telefónica, recursos adquiridos para la formación académica en el desarrollo de prácticas en entornos experimentales para el Laboratorio de Comunicaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes. A fin de que los sistemas entrenadores estén en fase de operatividad dentro del laboratorio, se desarrolló el proceso mediante dos etapas, en la cual se utilizó metodología analítica experimental, donde se abarcó la disección del funcionamiento de los mecanismos y bloques de procesamiento en el equipo satelital, realizando un análisis y evaluación a través de tareas adjuntas en los módulos del sistema sobre cada actividad realizada en el transcurso de la comunicación satelital. De manera análoga, en el sistema de telefonía se desarrolló un análisis del desempeño de los distintos componentes utilizados en una red telefónica analógica y digital, realizando las prácticas incluidas dentro de los manuales de usuario. Así mismo dentro de la primera etapa, se experimentó en el sistema satelital prácticas propuestas de manera complementaria corroborando el respectivo funcionamiento, y determinando que el alcance de explotación hacia otros sistemas de comunicación no es concebible. Acorde con los resultados obtenidos en el proceso de verificación del funcionamiento de tareas desarrollables soportadas a nivel de hardware y software, se generó las guías de prácticas de los sistemas entrenadores didácticos para las materias de Sistemas de Comunicaciones Satelitales y Telefonía Analógica Digital.

PALABRAS CLAVE: <TELECOMUNICACIONES>, <COMUNICACIONES SATELITALES>, <TELEFONÍA ANALÓGICA> <TELEFONÍA DIGITAL>, < RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI)>, < MECÁNICA ORBITAL>, < MODULACIÓN DE SEÑAL>, <CODIFICACIÓN DE SEÑAL>.

SUMMARY

In the present work, the satellite communications system and the analogue and digital teaching telephone communication system were carried out, the resources acquired for the academic training, the development of practices in the experimental environments for the Communications Laboratory of the School of Communication. Electronic Engineering in Telecommunications and Networks. In order that the coaching systems are in the operation phase within the laboratory, the process is carried out through two stages, in which is the experimental analytical, which includes the dissection of the functioning of the mechanisms and the processing blocks in the satellite equipment, perform an analysis and evaluate through tasks attached to the system modules on each activity carried out in the course of satellite communication. Analogously, in the telephony system, it was reduced and analyzed digitally, practical practices are carried out in user manuals. Likewise, within the first stage, the satellite system was experimented with, the practices were complemented, the respect for the operation was corroborated, and the scope of exploitation towards other communication systems was determined, which is not conceivable. In accordance with the results in the verification process of the work carried out at the hardware and software level, the training guides of the didactic training systems for the subjects of Satellite Communications Systems and Digital Analog Telephony were generated.

KEY WORDS: <TELECOMMUNICATIONS>, <SATELLITE COMMUNICATIONS>, <ANALOGUE TELEPHONY> <DIGITAL TELEPHONY>, <INTEGRATED SERVICES DIGITAL NETWORK (ISDN)>, <ORBITAL MECHANICS, <SENAL MODULATION, <SENAL CODING>.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se plantea realizar un análisis integral de un sistema entrenador de comunicaciones satelitales y de telefonía para poder ponerlos en marcha en el laboratorio de comunicaciones de la EIE-TR con fines prácticos. Para lograr el cumplimiento de éste proyecto, se desarrollarán tareas adjuntas en los sistemas con las cuales se examinarán cada bloque de procesamiento los cuales sustentan el presente trabajo y permitirán la consolidación operativa de los sistemas entrenadores de comunicaciones satelitales y de telefonía.

Partiendo con los conocimientos de que la Unión Soviética conmocionó al mundo al lanzar el primer satélite artificial, SPUTNIK I, en 1957, la ciencia y comunicaciones por satélite han logrado experimentar una evolución asombrosa. Desde ese entonces, la sucesión de satélites de comunicaciones cada vez más sofisticados ha sido constante. “En definitiva en las comunicaciones satelitales transcurrieron once años entre el lanzamiento del primer satélite artificial y la obtención efectiva de un sistema de comunicaciones global plenamente operacional (Intelsat 3, en 1968)”. (ITU 2002, p. 2)

Hoy en día los satélites abarcan un rol sumamente importante en la comunicación global incluyendo la telefonía, las redes de datos, el transporte y distribución de video, así como transmisión de radio y televisión directamente al consumidor.

Además de las aplicaciones diseñadas específicamente para fines de comunicación, los satélites son extensamente utilizados para sistemas de navegación, investigación científica, mapeo, teledetección, reconocimiento militar, detección y alivio de desastres y para muchas otras aplicaciones. Todas estas aplicaciones, sin embargo, requieren al menos un enlace de comunicaciones entre el satélite y una o más estaciones terrenas.

En similitud, el teléfono ha sido parte de la vida moderna por más de un siglo y aun hoy es uno de los medios de comunicación frecuentemente utilizados.

Históricamente, a finales del siglo XVIII con la ayuda del telégrafo ya se podía enviar mensajes a larga distancia asociando letras con impulsos eléctricos, pero aquel método dejó de ser suficiente para la necesidad de comunicarse, entonces surgió un dispositivo el cual logró ser capaz de convertir señales eléctricas en ondas de sonido. La telefonía que se inicia en 1876 con la obtención por parte de Alexander Graham Bell de la patente de un dispositivo de comunicación a larga distancia al que nombro teléfono.

La invención del transistor, introducción de los circuitos altamente integrados (VLSI), y la aparición del procesador digital de señales (DSP) están dentro de los avances importantes de la comunicación telefónica. Estas innovaciones técnicas además del desarrollo por parte de las compañías de telefonía, produjeron las redes telefónicas digitales actuales y también nuevas formas de comunicación entre las cuales están la telefonía celular y la telefonía IP.

Con dichos avances en las comunicaciones se llegó a integrar los distintos servicios de voz, video y datos en una misma infraestructura lógica y física, dando origen a las famosas centrales IP PBX, que reemplazan a las antiguas centrales analógicas, con una tecnología digital que se basa en el protocolo IP (Protocolo de Internet), conectadas a líneas troncales de datos llamadas troncales SIP (Protocolo de Inicio de Sesión) que permiten utilizar compresión de voz, lo que economiza ancho de banda en las instalaciones de acceso y deja más capacidad disponible para datos cuando se comparten las instalaciones de acceso. (Culqui 2013, p. 31)

En la actualidad, en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes no ha existido una capacitación en el ámbito práctico referente a las Telecomunicaciones, por el motivo de no poder contar con los equipos necesarios para emular entornos laborales.

En vista de que los estudiantes solo tienen acceso a equipos de Redes, la escuela ha adquirido dos sistemas de instrucción, tanto de comunicaciones satelitales y de telefonía, para lograr complementar el conocimiento empírico en posibles falencias académicas. El sistema de Comunicaciones satelitales que consta de equipos necesarios para emular un enlace de subida y bajada con dispositivo transmisor y receptor de estación terrena además del dispositivo repetidor (satélite) y un software simulador de orbitas diseñado para visualizar y comprender los conceptos importantes y necesarios referentes al tema; así mismo el sistema instructor de telefonía se compone de un módulo de interfaz configurable con tarjetas para interfaz analógica, troncal analógica-digital, troncal digital además del software respectivo de simulación.

Formulación del problema

El no acceso a simuladores de entornos prácticos por parte de los estudiantes de la EIE-TR, provoca la existencia de vacíos de información por falta de capacitación en el ámbito de las comunicaciones satelitales y telefonía analógica-digital.

Sistematización del problema

¿Qué es y para qué sirven el sistema entrenador de comunicaciones satelitales y el sistema didáctico de telefonía analógica y digital? ¿Se logrará complementar los conocimientos teóricos paso a paso simulando diferentes técnicas transmisión en dichos equipos? ¿Qué parámetros de calidad podemos analizar en el equipo instructor de comunicaciones satelitales y telefonía analógico-digital? ¿Será posible configurar el instructor de comunicaciones satelitales para soportar otro sistema de transmisión?

Objetivos

Objetivo general:

Realizar la puesta en marcha y análisis integral de un sistema entrenador de comunicaciones satelitales y de telefonía para el laboratorio de comunicaciones de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes

Objetivos específicos:

- Analizar el funcionamiento del sistema entrenador de comunicaciones satelitales y del sistema entrenador de telefonía-analógica digital.
- Fundamentar teóricamente el desarrollo de prácticas de laboratorio en el sistema entrenador de comunicaciones satelitales para la puesta en marcha de laboratorio de comunicaciones de la EIETR.
- Analizar y evaluar los diversos parámetros de calidad en diferentes configuraciones a emular en los equipos en mención.
- Determinar el rendimiento del equipo satelital ante escenarios no propuestos verificando así si existe un alcance de explotación hacia otros sistemas de comunicación.
- Corroborar el respectivo funcionamiento de los equipos frente a las prácticas de laboratorio propuestas.
- Generar las guías prácticas de los sistemas entrenadores didácticos para la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Fundamentos de las comunicaciones satelitales

1.1.1 *Satélite*

Llamamos satélites a aquellos elementos artificiales o naturales que se mueven alrededor de un cuerpo celeste y que pueden tener diferentes funciones de acuerdo a su procedencia.

Un Satélite Natural es un cuerpo celeste con movimiento propio, generalmente orbitando un planeta.

Un Satélite Artificial es un dispositivo que actúa como “espejo o reflector” de las ondas emitidas desde las estaciones terrenas. Es decir los satélites reflejan un haz de ondas electromagnéticas que transportan información codificada, y cuya función de reflexión se compone de elementos receptores y emisores que operan a diferentes frecuencias, para recibir y enviar la información.

Según Prochnow, Cupertino Durão y Schuch “un satélite artificial es un sistema que orbita alrededor de nuestro planeta, con latitud y velocidad constante. Generalmente los satélites están equipados con medios radioeléctricos y están dotados de energía, disponiendo o no un sistema de control remoto”.(Prochnow 2006, p. 9)

1.1.2 *Clasificación*

Los satélites artificiales se pueden clasificar en dos categorías: Satélites de Observación y Satélites de comunicaciones.

1.1.2.1 *Satélite de Observación*

Los satélites de observación se son diseñados para observar y transmitir información acerca del cuerpo orbitado, diseñados específicamente para aplicaciones como meteorología cartografía, control del medio ambiente, etc.

1.1.2.2 *Satélite de Comunicación*

Un satélite de comunicación es un conjunto de equipos que hace la función de una estación repetidora de ondas electromagnéticas en el espacio exterior, utilizado en las telecomunicaciones, la radio y televisión en conjunto con aplicaciones de Internet.

Están ubicados en su mayoría a una altura aproximadamente de 36.000 Km sobre el Ecuador en la órbita geoestacionaria girando alrededor de la tierra a una velocidad igual a la rotación terrestre.

1.1.3 Segmentación de un sistema de comunicaciones por satélite

Un sistema de comunicación satelital es un sistema complejo que consta generalmente de varios elementos para su funcionamiento, cuenta con tres subsistemas divididos en segmento terrestre, segmento espacial y segmento de control.

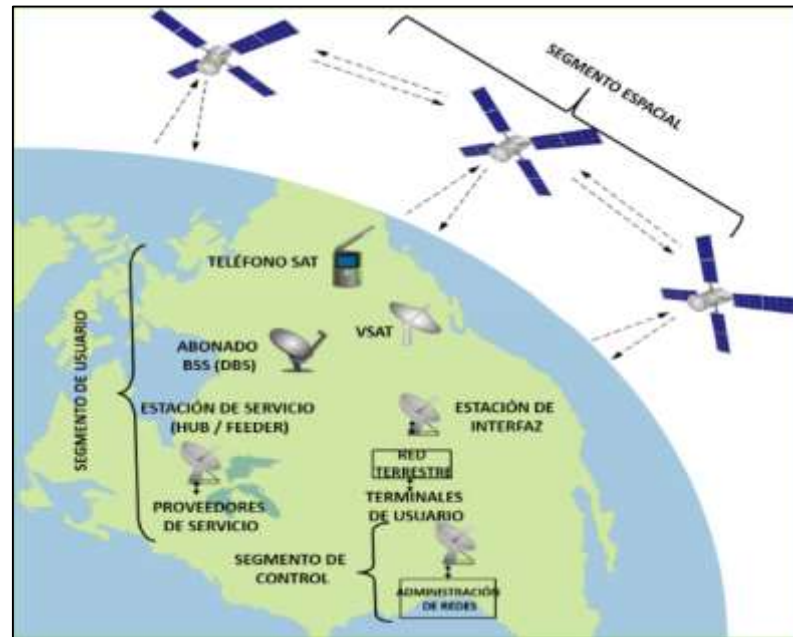


Figura 1-1. Segmentación de un sistema de Comunicaciones Satelitales
Fuente: (Festo Didactic 2014a)

Segmentos del sistema de comunicaciones por satélite:

1.1.3.1 Segmento terrestre

Está compuesto por las estaciones terrenas que interactúan directamente con el segmento de las estaciones espaciales, además compuesta de otras instalaciones terrenas comúnmente utilizadas como tráfico de la comunicación como redes y estaciones de satélites militares, estaciones VSAT (terminales de muy pequeña apertura), estaciones SRS o DBS (servicio de radiodifusión satelital o servicio directo de radiodifusión), estaciones GPS (servicio de posicionamiento global). Su función principal es transmitir, recibir, y solo transmitir o solo recibir señales de o hacia otras estaciones a través de la comunicación satelital (Festo Didactic 2014a, p. 13)

1.1.3.2 Segmento espacial

Este segmento se constituye de uno o más satélites activos y de reserva que están situados en el espacio alrededor del cuerpo que orbiten, comúnmente llamadas constelaciones de satélites activos, al mismo tiempo, todas las instalaciones y equipos encargados de formar parte de la puesta en órbita

del satélite como el vehículo de lanzamiento y demás, son considerados parte del sistema espacial. Su función es prácticamente recibir señales de microondas a una frecuencia desde las estaciones de usuario, las convierte a frecuencias diferentes de la señal recibida y las transmite a la zona de cobertura. Otras funciones dependiendo del funcionamiento del satélite incluyen recolectar datos y transmisión al segmento de control. (Festo Didactic 2014a, p. 17)

1.1.3.3 *Segmento de control*

Este segmento hace referencia a todos los equipos y las instalaciones que son útiles y necesarias para controlar, supervisar y gestionar el buen funcionamiento de los segmentos espaciales, su función principal es vigilar el estado de todos los subsistemas del satélite es decir hacen un seguimiento y control para mantener el satélite en órbita y funcional. (Festo Didactic 2014a,p. 21)

1.1.4 ***Funcionamiento básico de un satélite***

Los satélites puede dividirse en dos subsistemas principales para su operación: la carga útil que es el conjunto de equipos y antenas que procesan las señales de comunicación de los usuarios como función substancia; y la plataforma que son las estructuras de soporte, con otros elementos de apoyo a la mencionada función.(Rosado, 2000, p. 9)

1.1.4.1 *Carga útil*

Está compuesta por todos los equipos de los satélites que lleva a cabo la misión del satélite. La carga puede ser dividida en dos partes: las antenas y el transpondedor. (Festo Didactic 2014a, p. 17)

- *Antena*

Son estructuras conductoras que captan las señales de RF (Radiofrecuencia) que llegan desde las estaciones terrestres emisoras, y después de su procesamiento en el satélite, son transmitidas nuevamente hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. (Romero 2006, p. 248)

- *Repetidor*

Este sistema se encarga de la recepción, amplificación y reemisión de la señal que llega al satélite. Para esto transforma la señal en banda base a una frecuencia predeterminada, utilizando diferentes canales de radiofrecuencia de banda ancha en el tramo de subida y en el de bajada. (Hernández 2000, p. 23)

- a. Repetidor transparente

Sistema que no demodula las señales de enlace ascendente, es decir, trasladan simplemente la frecuencia de las señales recibidas, las amplifican y las encaminan a las antenas de transmisión, para su retransmisión a través del enlace descendente. (Hernández 2000, p. 23)

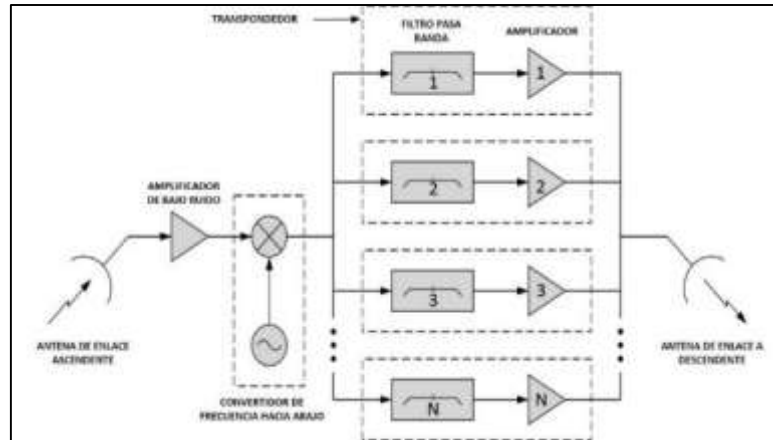


Figura 2-1. Carga transparente o repetidor.
Fuente: (Festo Didactic 2014a)

b. Repetidor regenerativo

Sistema que recupera la señal de banda base demodulando la señal del enlace ascendente, además de procesar, re-modula la señal de banda base con una portadora, a una frecuencia de enlace descendente, diferente obviamente del enlace de subida, luego amplifica en potencia y retransmite. (Festo Didactic, 2011a, p. 19)

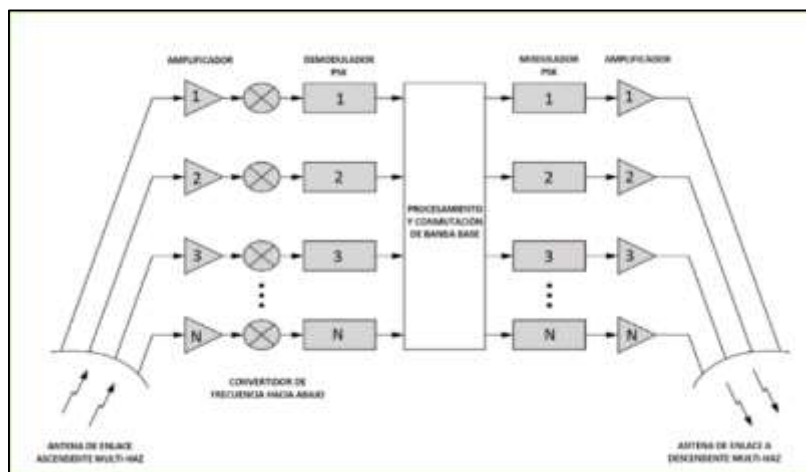


Figura 3-1. Carga útil regenerativa.
Fuente: (Festo Didactic 2014a)

1.1.4.2 *Plataforma*

En este sistema están incluidos todos los elementos que permiten operar a la carga y permanecer en funcionamiento. Ofrece la estructura mecánica del satélite, suministra energía eléctrica a la carga, y sistemas de control y propulsión, así como un sistema para mantener la estabilidad térmica. La plataforma también tiene espacio para una comunicación bidireccional con el segmento de control. (Festo Didactic 2014a ,p. 20)

1.1.5 *Señal de banda base*

La señal “baseband” o banda base es la señal que incorpora toda la información que inicialmente se quiere transmitir.

Una señal de banda base puede ser analógico (teniendo en cualquier valor dentro de un determinado intervalo) o digital (teniendo en un número finito de valores discretos). (Festo Didactic 2014a, p. 72)

En una estación de transmisión terrestre, la señal de banda base se utiliza para modular una portadora sinusoidal. La técnica de modulación utilizada depende del tipo de señal banda base que se transmite. Para transmitir una señal analógica de banda base, generalmente es utilizada una modulación analógica FM. Para transmitir una señal de banda base digital, modulación digital, generalmente es utilizada una forma de incrustación de cambio de fase (PSK). (Festo Didactic 2014a, p. 72)

Para transmitir la señal de banda base a través de una señal portadora, debe pasar por diferentes procesos y conversiones entre las cuales tenemos las siguientes:

- Adaptación de las señales, como preparación que contribuye a mejorar la eficiencia de la transmisión de la información y su calidad en el punto de recepción. (Rosado 2000, p. 118)
- Codificación de la información o Conversión analógico-digital, de tal manera que valores explorados en secuencia de la forma de onda de la señal analógica se representen por combinaciones de pulsos en secuencia, de acuerdo con reglas precisas. (Rosado 2000, p. 118)
- Codificación del canal, consiste en agregar bits adicionales a las señales digitales, cuyo objetivo es aplicar diferentes métodos de detección y corrección de errores para reducirlos substancialmente en el destino, esto conlleva a que las señales que sean recibidas logren ser resistentes a la interferencia y ruido propio del canal. (Rosado 2000, p. 118)
- Cifrado, se realiza mediante una codificación superpuesta, para evitar que la información sea interpretada y utilizada por otro que no sea el destinatario. (Rosado 2000, p. 118)

- Compresión digital, que permite que las señales puedan ser transmitidas ocupando una menor anchura de banda. (Rosado 2000, p. 118)
- Multiplexaje, a fin de que múltiples canales de información se combinen en una sola señal de banda de base. (Rosado 2000, p. 118)

1.1.6 *Frecuencia intermedia*

Se denomina frecuencia intermedia (FI), a la resultante de la señal de banda base después de pasar por el proceso de modulación, de forma que esta queda centrada en el rango de la frecuencia de corte (proceso de filtrado) necesaria y cercana a la frecuencia de la portadora que va a transmitir.

1.1.7 *Portadora*

Señal principal de radio, generalmente de una frecuencia fija, que es modulada por la señal de información a fin de transportar dicha señal de información. (Rosado 2000, p. 118)

1.1.8 *Banda de radio frecuencia*

Son intervalos de frecuencias dentro del espectro electromagnético sujetos a diferentes usos dentro de las telecomunicaciones.

En los sistemas de comunicaciones por satélite, la banda RF generalmente utilizadas para las estaciones terrenas están entre 1 y 30 GHz. Utilizando las frecuencias altas reduce la atenuación atmosférica y permite la construcción de antenas de alta ganancia de tamaño razonable. (Festo Didactic 2014a, p. 73)

Las bandas de frecuencia están contemplados usando adjetivos o las designaciones de letra. La Tabla 1-1 muestra adjetivo las denominaciones de las bandas de frecuencias utilizadas en las comunicaciones por satélite.

Tabla 1-1. Bandas y rangos de frecuencia en comunicaciones satelitales

Banda	Rango de frecuencia	Unidad
VHF	30 – 300	MHz
UHF	300 - 1000	MHz
L	1 – 2	GHz
S	2 – 4	GHz
C	4 – 8	GHz
X	8 – 12	GHz
Ku	12 – 18	GHz
K	18 – 27	GHz
Ka	27 – 40	GHz
Q	40 – 60	GHz

V	60 – 75	GHz
W	75 – 110	GHz

Fuente: (Festo Didactic 2014a)

1.2 Fundamentos de telefonía

1.2.1 Terminal Telefónico

Existen diversas tecnologías, usos y prestaciones para los terminales telefónicos funcionando en las redes de telecomunicaciones. Entre ellos se pueden mencionar terminales telefónicos fijos, con tecnología analógica o digital, terminales telefónicos móviles, con diverso tipo de tecnologías, terminales de software (“softphones”), terminales de uso corporativo, etc. (Joskowicz 2015, p. 5)

1.2.2 Señalización entre centrales y teléfonos analógicos

Para establecer una comunicación telefónica entre dos dispositivos, es necesario implementar protocolos de señalización, que permitan indicar el número discado, la atención de una llamada, etc. . (Joskowicz 2015, p. 12)

1.2.3 Transmisión de señal de voz

La señal eléctrica transmitida en una conversación telefónica generada por el terminal telefónico es una señal analógica, modulada por la voz, y limitada dentro de un ancho de banda comprendido entre 300 y 3400 Hz. Dicha señal sufre a lo largo de la red procesos de conversión y codificación. La conmutación utilizada puede ser conmutación espacial o conmutación temporal. (Huidrobo y Conesa 2001, p. 10)

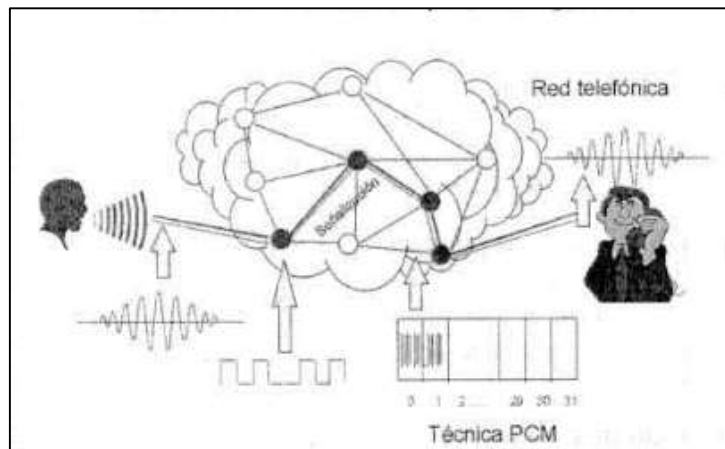


Figura 4-1. Transmisión de señal telefónica

Fuente: (Huidrobo y Conesa 2001)

1.2.4 Red telefónica pública conmutada

La RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada) se define al conjunto de elementos constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permite enlazar a voluntad dos equipos terminales mediante un circuito físico que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma. Se trata por tanto, de una red de telecomunicaciones conmutada que es una red de comunicación diseñada primordialmente para la transmisión de voz. (Loyos, 2008, p. 11)

Los primeros sistemas telefónicos transmitían únicamente señales de frecuencias vocales (llamadas telefónicas). Posteriormente para atender a nuevas necesidades de comunicación, como es la transmisión de datos, los sistemas telefónicos han sufrido un considerable desarrollo. Para realizar estas funciones la red telefónica consta básicamente de tres elementos. (Campanario, 2012, p. 8)

Equipos terminales son los componentes del sistema que permiten interactuar a los usuarios. Actúan como emisor o receptor de la señal que se desea transmitir, siendo a la vez fuente y destino de información. Pueden ser de muy distinta índole, tanto por la tecnología con la que funcionan como por la función del servicio que realizan: teléfonos, fax, módems, etc. (Campanario, 2012, p. 8)

Los enlaces son el conjunto de medios físicos que se utilizan como soporte para la transmisión de señales (voz, datos, texto, etc.) por la red tales como pares, coaxiales, fibra óptica, equipos de radio, etc. (Campanario, 2012, p. 8)

Los nodos de conmutación son los elementos de la red en los que concurren dos o más enlaces de comunicación, encargándose de gestionar las conexiones necesarias para que se establezca la comunicación entre dos terminales. Deben poseer los medios necesarios para poder conectar todas sus entradas con todas las salidas; de esta manera permiten encaminar la información hacia el destino correcto. (Campanario, 2012, p. 8)

1.2.5 Red digital de servicios integrados

La RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), como una red evolucionada de una red tradicional telefónica, que proporciona conectividad digital, soportando un amplio abanico de servicios ya sean vocales u otros y a la que los usuarios pueden tener acceso mediante dispositivos o interfaces multiservicio. (Campanario, 2012, p. 8)

1.2.6 PABX

Las centrales automáticas privadas PABX o PBX (intercambio de sucursales automático y privado) es un circuito conmutador o switch telefónico capaz de enrutar las llamadas telefónicas que entran y salen de una empresa. Se utilizan para conmutar llamadas internas o entre extensiones, evitando el uso de circuitos de la red telefónica conmutada RTC; solo cuando la llamada es saliente tiene como destino una terminal ajena a la empresa utiliza una de las líneas externas. (Cevallos & Tasintuña, 2007, p. 4)

1.2.7 Procesador de señales digitales (DPS)

Los DSP o procesadores digitales de señal son microprocesadores específicamente diseñados para el procesamiento digital de señal. Algunas de sus características más básicas como el formato aritmético, la velocidad, la organización de la memoria o la arquitectura interna hacen que sean o no adecuados para una aplicación en particular. (Salazar, 2000, p. 1)

Un procesador digital de señal es un dispositivo con capacidad de procesamiento en línea, o en tiempo real, de información que presenta, a la vez, características de micro controlador y microprocesador. Posee una CPU de gran potencia de cálculo preparada para el tratamiento digital de señales en tiempo real y para la realización del mayor número de operaciones aritméticas en el menor tiempo posible. Por tanto, su circuitería interna ha sido optimizada para la implementación de funciones tales como el filtrado, la correlación, el análisis espectral, etc., de una señal digital de entrada al sistema. (Gallardo, Lillo, Toral, & Barrero, 2003)

1.3 Señal analógica

Se denomina señal a toda magnitud eléctrica cuyas variaciones llevan información sobre un proceso o magnitud física. Las señales cuya amplitud varía de forma continua con el tiempo se denominan señales analógicas. (Pallás 1993, p. 87)

Se dice que una señal eléctrica analógica es continua porque para cada momento en el tiempo hay un valor correspondiente de la señal y porque pequeños cambios en el fenómeno de variación de tiempo producen pequeños cambios en la señal. La señal analógica se usa comúnmente para representar cantidades físicas como temperatura, presión, velocidad, luminancia, etc. (Festo Didactic 2014a, p. 123)

1.3.1 Modulación analógica

El proceso mediante el cual se traslada una señal en banda base en el espectro de frecuencia es la modulación y a la señal así trasladada se designa como señal modulada. (Pérez 2007, p. 7)

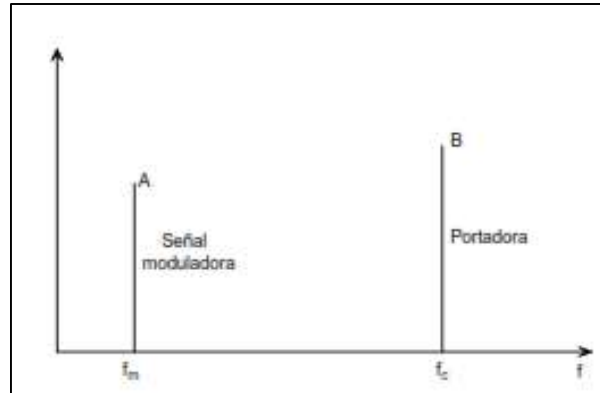


Figura 5-1. Espectro de moduladora y portadora.

Fuente: (Pérez 2007)

Se denomina modulación al proceso de variar una propiedad determinada de una forma de onda (señal portadora), en relación con otra forma de onda (señal de modulación, señal de mensaje o señal de información) para transportar la señal de modulación a través de un canal de comunicaciones. Por consiguiente el proceso inverso se denomina demodulación. Para llevar a cabo dicha modulación se necesita la mezcla entre la señal de información con una señal portadora sinoidal de frecuencia superior a la frecuencia de la señal de información, produciendo una señal de amplitud, frecuencia o fase variable, estas en mención son las técnicas de modulación analógicas más conocidas. (Festo Didactic 2014a, p. 124)

1.3.1.1 Modulación y demodulación en Amplitud

Con esta modulación la propiedad variada según la señal de información es la amplitud de la portadora, de manera que la información de amplitud y frecuencia de ésta se ajustan sobre la portadora haciendo que su envolvente varíe de acuerdo a la señal moduladora o de información. (Pérez 2007, p. 166)

Los moduladores de AM son dispositivos no lineales, con dos entradas y una salida. Una entrada es una sola señal portadora de alta frecuencia y amplitud constante, y la segunda está formada por señales de información, de frecuencia relativamente baja, que puede tener una sola frecuencia, o ser una forma compleja de onda, formada a su vez por muchas frecuencias. Las frecuencias que son lo suficientemente altas como para irradiarse en forma eficiente de una antena, y propagarse por el espacio libre se suelen llamar radiofrecuencias, o simplemente RF. (Tomasi 2003, p. 100)

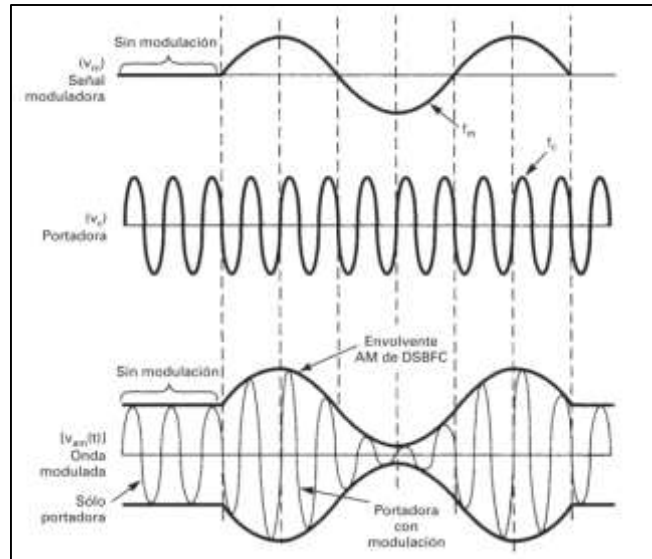


Figura 6-1. Generador de AM

Fuente:(Tomasi 2003)

La demodulación o detección también es un proceso no lineal e inverso a la modulación, que se emplea en el receptor para recuperar la señal original en banda base detectando variaciones de amplitud. En este proceso si bien puede utilizarse un mezclador, este no es indispensable y resulta más simple y económico utilizar un detector de envoltente. (Pérez 2007, p. 180)

- Detector de envoltente: En este tipo de detector la entrada es la señal modulada de RF y no se requiere otra señal de un oscilador local.(Pérez 2007, p. 181)

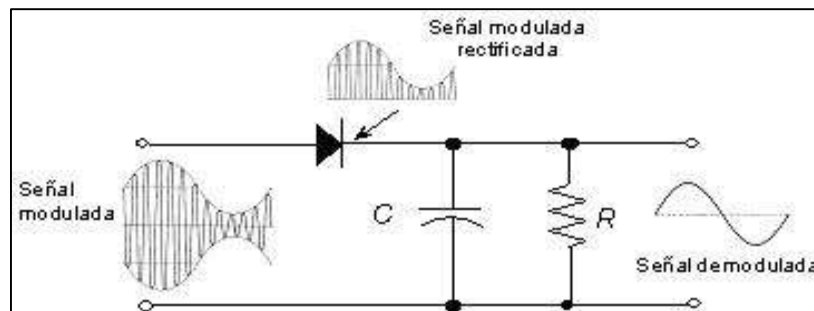


Figura 7-1. Detector de envoltente

Fuente:(Pérez 2007)

- Detección coherente: En la detección o demodulación coherente, una de las entradas al mezclador es la señal modulada y la otra, una señal de frecuencia y fase iguales a las de la portadora con que fue modulada. La señal y que puede ser generada por un oscilador local. (Pérez 2007, p. 183)

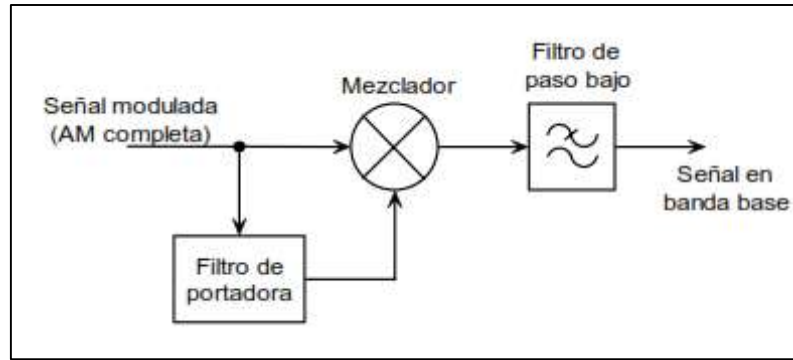


Figura 8-1. Demodulación coherente de AM completa

Fuente: (Pérez 2007)

1.3.1.2 Modulación y demodulación en frecuencia

La modulación de frecuencia FM es un caso de modulación angular no lineal junto con la modulación PM, esta consiste en variar la frecuencia instantánea de una portadora de amplitud constante en proporción directa a la amplitud instantánea de la señal moduladora, con una rapidez igual a la frecuencia de la señal moduladora. (Tomasi 2003, p. 229)

Hablamos de rapidez al decir, que si se emplea una moduladora de 100 Hz, la onda modulada (portadora) se deslizará por arriba y abajo 100 veces en un segundo respecto de su frecuencia central de operación. El grado de variación u oscilación de este fenómeno depende de una medida de volumen con que se modula la portadora denominado “índice o coeficiente de modulación” β . (Perna 2010, p. 25)

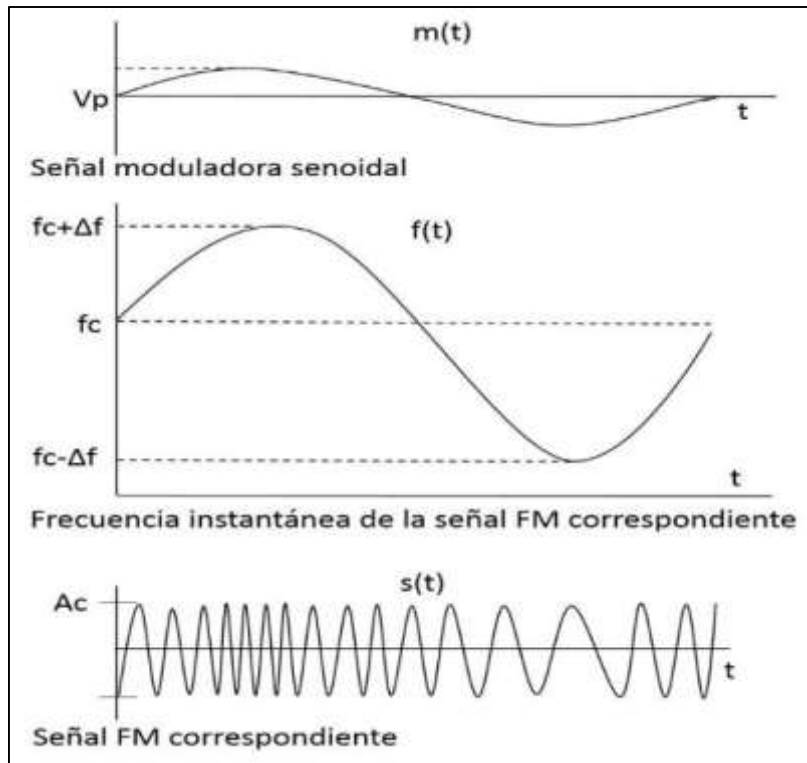


Figura 9-1. FM con una señal moduladora senoidal de banda base.
Fuente:(Couch 2008)

La amplitud de la señal modulada permanece constante, independientemente de la amplitud y frecuencia de la señal de modulación. La modulación FM no añade potencia a la portadora sin modular. (Festo Didactic 2014a, p. 128)

De acuerdo al índice de modulación se caracterizan dos tipos de FM:

- FM de banda estrecha (NBFM)

De acuerdo a su índice de modulación bajo menores a 0,3, la FM de banda angosta o estrecha un caso especial de la modulación en frecuencia, en el cual son dos las bandas laterales altamente significativas, esta trabaja para un ancho de banda aproximadamente igual al doble de la señal moduladora. (Perna 2010, p. 29)

- Modulación FM de banda ancha (WBFM)

La modulación de frecuencia de banda ancha es el segundo caso especial de FM, la cual tiene como objetivo la transmisión de un mayor flujo de información respecto a la FM de banda angosta. Esto se debe particularmente a que una señal modulada en frecuencia de banda ancha

ocupa como su nombre lo indica, un mayor ancho de banda respecto a su contraparte de banda angosta, trabaja para un ancho de banda muy superior al doble de la moduladora. (Perna 2010, p. 32)

El espectro de una señal de FM contiene una componente de la portadora y un conjunto infinito de frecuencias laterales localizadas simétricamente a cualquier lado de la portadora y a separaciones de frecuencia de f , $2f$, $3f$..., (Haykin 2002, p. 115)

La amplitud relativa de cada línea espectral (que representa la amplitud de cada banda lateral), para un índice de modulación dado, viene dada por el valor de la función de Bessel correspondiente. Esta amplitud puede ser positiva o negativa. La potencia de cada banda lateral es proporcional al cuadrado de la amplitud. La suma de estas potencias es constante e igual a la potencia promedio de la portadora no modulada. (Festo Didactic 2014a, p. 131)

Los valores de las funciones de Bessel se pueden representar como una tabla de coeficientes. La Tabla 2-1 muestra los coeficientes de Bessel según su rango n , en función del índice de modulación β .

Tabla 2-1. Coeficientes de Bessel como función del índice de modulación.

β	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9
0.0	1.00									
0.1	1.00	0.05								
0.2	0.99	0,10								
0.3	0,98	0,15	0,01							
0.4	0,96	0,20	0,02							
0.5	0,94	0,24	0,03							
0.6	0,91	0,29	0,04							
0.7	0,88	0,33	0,06							
0.8	0,85	0,37	0,08	0,01						
0.9	0,81	0,41	0,09	0,01						
1.0	0,77	0,44	0,11	0,02						
1.1	0,72	0,47	0,14	0,03						
1.2	0,67	0,50	0,16	0,03						
1.3	0,62	0,52	0,18	0,04						
1.4	0,57	0,54	0,2	0,05	0,01					
1.5	0,51	0,56	0,23	0,06	0,01					
1.6	0,46	0,57	0,26	0,07	0,01					
1.7	0,40	0,58	0,28	0,09	0,02					

1.8	0.34	0.58	0,31	0,10	0,02					
1.9	0.28	0.58	0,33	0,11	0,03					
2.0	0.22	0.58	0,35	0,13	0,03					
2.1	0.17	0.57	0,37	0,15	0,04	0,01				
2.2	0.11	0.56	0,40	0,16	0,05	0,01				
2.3	0,06	0.54	0,41	0,18	0,06	0,01				
2.4	0.00	0.52	0,43	0,20	0,06	0,02				
2.5	-0.05	0.50	0,45	0,22	0,07	0,02				
2.6	-0,10	0.47	0,46	0,24	0,08	0,02				
2.7	-0,14	0.44	0,47	0,25	0,09	0,03				
2.8	-0,19	0.41	0,48	0,27	0,11	0,03				
2.9	-0,22	0.38	0,48	0,29	0,12	0,04	0,01			
3.0	-0,26	0.34	0,49	0,31	0,13	0,04	0,01			
3.5	-0,38	0.14	0,46	0,39	0,20	0,08	0,03			
3.8	-0,40	0,01	0,41	0,42	0,25	0,11	0,04	0,01		
4.0	-0,40	-0,07	0,36	0,43	0,28	0,13	0,05	0,02		
5.0	-0,18	-0,33	0,05	0,36	0,39	0,26	0,13	0,05	0,02	
5.1	-0,14	-0,34	0,01	0,35	0,40	0,27	0,14	0,06	0,02	
5.5	-0,01	-0,34	-0,12	0,26	0,40	0,32	0,19	0,09	0,03	0,01

Fuente: (Festo Didactic 2014a)

La demodulación en frecuencia es el proceso que permite recuperar la señal moduladora a partir de la señal FM. La salida del demodulador va a ser proporcional a la frecuencia instantánea de la señal a la entrada. (Fernández 2013, p. 24)

Tanto en la modulación AM o FM de un sistema de comunicación satelital, el espectro de frecuencia de la señal modulada tiende a trasladarse hasta la frecuencia de la portadora, esta frecuencia portadora FM es una frecuencia intermedia (IF). En la estación terrena transmisora, generalmente se aplican una o más etapas de conversión ascendente para cambiar la señal (IF) a una frecuencia de radio (RF) mucho más alta, del orden de varios GHz, adecuada para la transmisión al satélite por el enlace ascendente. En la estación terrena receptora, la señal de RF del enlace descendente del satélite se convierte a una frecuencia intermedia antes de la demodulación realizando las conversiones descendentes necesarias. (Festo Didactic 2014a, p. 125)

1.4 Señal Digital

Resulta importante recordar que las limitaciones que se tienen para obtener comunicaciones confiables en un sistema de transmisión de señales análogas, están determinadas por el canal de

comunicación. En particular, dicho canal debe permitir el paso de la señales, teniendo un ancho de banda limitado para tales efectos. El concepto de comunicaciones digitales nace de la necesidad de transmitir información que no se encuentra como señales continuas sino como un mensaje binario. Cuando se habla de mensaje binario se hace referencia a una secuencia de dos tipos de pulsos de forma conocida ocurriendo en intervalos regulares de tiempo, T.(Godoy 2010, p. 1)

Aunque tanto la transmisión analógica como la digital se han utilizado ampliamente en las comunicaciones por satélite, la transmisión digital es cada vez más preferida debido a sus ventajas inherentes y porque los desarrollos tecnológicos la han hecho cada vez más atractiva. Muchos dispositivos, como los sistemas informáticos, producen información que ya está en formato digital Sin embargo, los fenómenos físicos, como el sonido en las conversaciones telefónicas, generalmente producen señales que están en forma analógica. Estas señales deben convertirse a formato digital en algún momento antes de la transmisión a través de un sistema de comunicaciones digitales. Las señales transmitidas a través de un enlace de satélite digital están en forma digital independientemente de si las señales de banda base originales son analógicas o digitales. (Festo Didactic 2014a, p. 163)

1.4.1 Modulación digital

Tanto en la modulación de señales análogas como digitales el proceso consiste en que una señal de información es contenida en una forma sinusoidal, siendo esta capaz de transmitirse en un canal con respuesta pasabanda. En el caso digital, la forma de onda sinusoidal de duración T se expresa como un símbolo digital. Así, el modulador en un sistema de comunicación digital, mapea las secuencias de dígitos binarios en sus correspondientes formas de onda para ser transmitidos en un canal pasabanda.(Godoy 2010, p. 69)

La modulación digital es un tipo de modulación en la cual el parámetro modulado de la señal portadora solo puede tomar valores discretos, en lugar de un rango continuo de valores como en la modulación analógica. Para transmitir los datos, un modulador digital podría variar la amplitud, la frecuencia o la fase, o una combinación de estos parámetros de esta portadora en pasos discretos. (Festo Didactic 2014a, p. 167)

1.4.1.1 Modulación PSK

La modulación por desplazamiento de fase PSK es usada generalmente por los satélites, que radica en hacer variar su portadora según los estados significativos de la señal moduladora. (Loja 2007, p. 5)

Según el estado de la portadora la PSK puede ser “directa” cuando la fase de la portadora modulada se determina por el estado de la señal de información, o “diferencial”, cuando la fase de la señal portadora modulada se fija por el cambio de estado de la señal moduladora.

Un modulador PSK de M fases ubica la fase de la portadora en uno de entre M valores dependiendo de la señal moduladora.

- Modulación por desplazamiento binario de fase BPSK

En la manipulación por desplazamiento binario de fase son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia portadora, ver Figura 10-1. Una fase de salida representa un 1 lógico, y la otra un 0 lógico. Cuando la señal de entrada digital cambia de estado, la fase de la portadora de salida varía entre dos ángulos que están desfasados 180°. (Tomasi, 2003, p. 478)

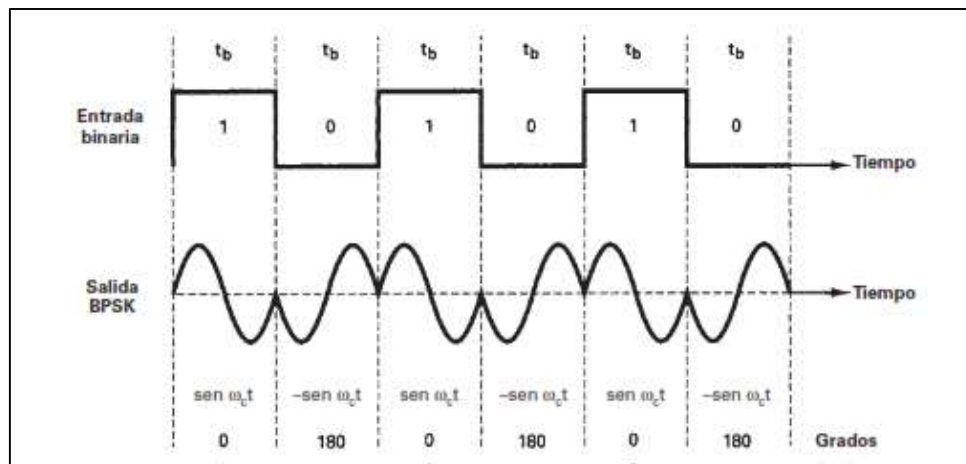


Figura 10-1. Relación de fase de salida en función del tiempo para un modulador BPSK
Fuente: (Tomasi 2003)

- Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura QPSK

La modulación por desplazamiento de fase cuaternaria o cuadratura consiste en que el tren de datos a transmitir se divide en pares de bits consecutivos llamados dibits, codificando cada bit como un cambio de fase con respecto al elemento de señal anterior. (Loja, 2007, p. 6)

La QPSK es una técnica M-aria de codificación en la que $M=4$ (de ahí el nombre “cuaternario”). Con esta codificación, son posibles cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Como hay cuatro fases distintas de salida, debe haber cuatro condiciones distintas de entrada. (Tomasi, 2003, p. 484)

En consecuencia, en la QPSK, los datos binarios de entrada se combinan en grupos de dos bits, llamados dibits. Cada dibit de código genera una de las cuatro fases posibles de salida como se observa en la Figura 11-1. Así entonces, para cada dibit de dos bits sincronizado en el modulador, se obtiene un solo cambio en la salida. Entonces, la rapidez de cambio en la salida (baudios) es la mitad de la rapidez de entrada de bits. (Tomasi, 2003, p. 484)

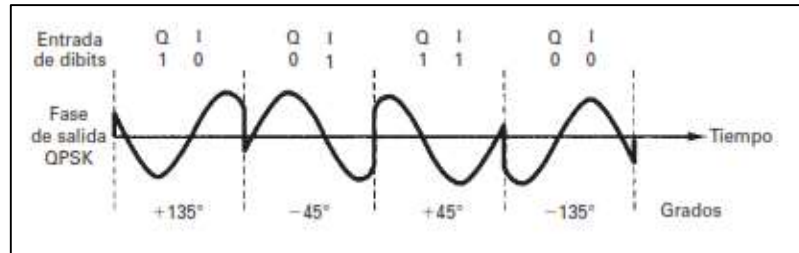


Figura 11-1. Fase de salida en función del tiempo para un modulador QPSK
Fuente: (Tomasi 2003)

1.5 Festo Didactic.

Festo Didactic es una empresa proveedora de tecnología de automatización industrial y de equipamientos y soluciones didácticas para educación técnica industrial líder a nivel mundial.

Con centros de producción en Alemania, EEUU y Canadá, además de posicionarse en diferentes países alrededor del mundo ofrece soluciones en los diferentes ámbitos tecnológicos como en la neumática y electro neumática, hidráulica y electrohidráulica, ingeniería en telecomunicaciones, ingeniería en electrónica, eléctrica y mecánica, automatización y mecatrónica, tecnología CNC, tecnología Fieldbus y PLC, tecnologías de la información, refrigeración y aire acondicionado. (Recurso en línea: <https://www.festo-didactic.com/int-en/?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xMi4zNDU2>)

1.5.1 Misión:

Festo a la vanguardia de la automatización industrial. Trabajamos con nuestros clientes para aumentar su productividad. Combinamos nuestro conocimiento con una pasión por el detalle, sin perder nunca de vista el panorama general. Fomentamos el crecimiento sostenible y mantener el mundo en movimiento. (Recurso en línea: <https://festo-consulting.es/mision-vision-y-valores/>)

1.5.2 Visión:

Nos inspiramos con soluciones inteligentes e intuitivas para la automatización industrial. Simplemente Festo. (Recurso en línea: <https://festo-consulting.es/mision-vision-y-valores/>)

1.5.3 *Lab-Volt*

Lab-Volt es una rama del grupo Festo Didactic que conjuntamente suministran equipamientos de laboratorios, software de formación con simuladores y sistemas de aprendizaje por ordenador y por web, a instituciones educativas y a industrias, capacitando así a los estudiantes y al personal industrial en los entornos de aprendizaje adecuado, con el propósito de lograr formar personas suficientemente competentes para contribuir en la productividad laboral. (Recurso en línea: <https://www.labvolt.com/Website/>)

1.6 Sistema de formación de comunicaciones por satélite

El sistema entrenador de comunicaciones por satélite es un sistema de capacitación en el campo de las comunicaciones por satélite. Está diseñado específicamente para cubrir tecnologías modernas de comunicación satelital que incluyen modulación analógica y digital. (Festo Didactic 2014a, p. 25)

El sistema de entrenamiento de comunicaciones por satélite incluye tres módulos de RF: el transmisor de estación terrestre, el receptor de estación terrena y el repetidor de satélite. (Festo Didactic 2014a, p. 25)

1.6.1 *Estación terrena transmisora*

En el módulo transmisor de la estación terrena, modelo 9570, se manejan tres secciones para su funcionamiento el cual incluyen un bloque de modulación analógica, modulación digital y dos etapas convertidores ascendentes de frecuencia. (Festo Didactic 2014a, p. 26)

El bloque de modulación analógica consiste en una etapa de procesamiento de banda base a través de una sección de filtrado de Pre-énfasis y posterior una modulación de frecuencia de banda ancha WBFM. El bloque de modulación digital, se compone de una sección del procesamiento de banda base a través de un TDM de 4-1 y posterior la sección de modulación DQPSK (QPSK Diferencial. (Festo Didactic 2014a, p. 26)



Figura 12-1. Equipo transmisor de estación terrena, 9570.
Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9570-00_earth_station_transmitter

1.6.2 Estación terrena receptora

En el módulo de recepción de la estación terrena se operan bloques de demodulación analógica en FM de banda ancha y demodulación digital en DQPSK; para el bloque de demodulación analógica se procesa la señal de banda base a través de una etapa de de-énfasis, por otra parte existe el proceso de demultiplexación por división de tiempo (TDM DEMUX) para el bloque de demodulación digital, así mismo se compone de dos bloques de conversión descendente de frecuencia antes de las etapas de demodulación (Festo Didactic 2014a, p. 28)



Figura 13-1. Equipo receptor de estación terrena, 9571.
Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9571-00_earth_station_receiver

1.6.3 Estación Satelital

El satélite repetidor, modelo 9572 basa su funcionamiento en un repetidor transparente cuyo rango de frecuencia esta entre 9 y 11 GHz utilizando dos antenas tanto de enlace descendente y de enlace ascendente respectivamente, contiene un bloque receptor de banda ancha seguido de bloque amplificador de ganancia variable, un filtro y amplificador de potencia . (Festo Didactic 2014a, p. 28)



Figura 14-1. Equipo repetidor satelital, 9572.

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9572-00_satellite_repeater

1.7 Telemetría e instrumentación ADD-ON

Los equipos de telemetría e Instrumentación, ver Figura 15-1 y Figura 16-1, en complemento utilizado con la aplicación de telemetría e instrumentación, proporciona telemetría con el receptor de satélite y un conjunto completo de instrumentos virtuales. (Festo Didactic 2014a, p. 30)

El complemento de telemetría e instrumentación consta de dos módulos:



Figura 15-1. Equipo de telemetría e instrumentación

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9573-00_data_generation_acquisition_interface.

El equipo de Generación de datos/Interfaz de adquisición, proporciona un enlace de telemetría con el satélite repetidor. Se compone de un bloque de interfaz de analizador de espectro para el uso con el instrumento virtual, modelo 1250-A0, así como de entradas y salidas digitales del generador de secuencia binaria. Los conectores USB del panel frontal son suministrados para conectar este módulo con el puerto USB del ordenador. (Festo Didactic 2014a, p. 31)



Figura 16-1. Instrumento virtual modelo 1250-A0.

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9573-00_data_generation_acquisition_interface

El Instrumento Virtual modelo 1250-A0 se compone de un conector de generación de señales analógicas, contiene además cuatro entradas para la muestra de datos a través de las aplicaciones de instrumentación. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9573-00_data_generation_acquisition_interface)

Proporciona una interfaz de usuario para la telemetría e instrumentación junto con las aplicaciones de LVsat – Instrumentación y telemetría del LVsat Software Suite. (Festo Didactic 2014a, p. 31)

- Osciloscopio
- Analizador de espectro
- Medidor de potencia
- Verificador BER
- Generador de Forma de onda configurables por el usuario
- Generadores de secuencia binaria BSGs.

1.8 Características y rendimiento del enlace

1.8.1 Enlaces de comunicaciones

Al hablar de enlace de comunicaciones se hace referencia a que existe un sistema de radiocomunicaciones, el cual consiste en uno o más enlaces de radio entre un transmisor y un receptor.

Al diseñar un sistema de comunicaciones, es importante poder medir estos valores en un enlace existente. El rendimiento del transmisor y su antena se miden por la potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE). El rendimiento del receptor se mide por el factor de mérito G / T , que es la relación entre la ganancia del receptor y la temperatura de ruido del sistema. (Festo Didactic 2014b,p.1)

El enlace también se ve afectado por el espacio entre las antenas transmisora y receptora. El parámetro de pérdida de trayectoria se utiliza para caracterizar este efecto. El rendimiento del enlace en sí mismo se mide por la relación C / N_0 , es decir, la relación entre la potencia de la portadora y la densidad espectral de la potencia de ruido. En última instancia, esta relación determina la señal de banda base a la potencia de ruido o la tasa de error de bit en el receptor. (Festo Didactic 2014b, p. 1)

1.8.2 Ganancia de potencia

En un sistema de comunicaciones satelitales se tiene que cada etapa se compone de varios elementos diferentes, los cuales incluyen transmisores, receptores, amplificadores, antenas, guías de onda o cables, así como el espacio libre y la atmósfera entre las antenas. La señal recibida se afecta aumentando o disminuyendo en potencia debido a cada uno de estos elementos. (Festo Didactic 2014b, p. 3)

Un amplificador de potencia aumenta la potencia de la señal al agregar energía a la señal. La energía agregada proviene de la fuente de alimentación del equipo. La ganancia G es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. (Festo Didactic 2014b, p. 3)

1.8.3 Polarización

El campo eléctrico (E) y magnético (H), son las componentes de una onda electromagnética cuya ubicación es ortogonal entre si y a su vez perpendicular a la dirección de propagación. De acuerdo a lo dicho, la polarización de una antena se define como la orientación del campo eléctrico radiado desde esta.

Una antena puede estar polarizada linealmente (horizontal o verticalmente), en forma elíptica o en forma circular. Es así que una antena puede irradiar una onda electromagnética verticalmente polarizada (polarización vertical); una onda electromagnética horizontalmente polarizada

(polarización horizontal); irradiar campo eléctrico que gira describiendo una elipse (polarización elíptica); irradiar el campo eléctrico que gira en forma circular (polarización circular).(Tomasi 2003, p. 82)

1.8.4 Antena del sistema entrenador de comunicaciones satelitales.

1.8.4.1 Polarización de antena de bocina o cuerno

Las antenas de bocina en el sistema de entrenamiento de comunicaciones por satélite pueden ser montados, ya sea para la polarización horizontal o vertical. La guía de onda de la antena se energiza con una pequeña sonda, que sobresale a través del lado ancho de la guía de onda. La orientación de esta sonda es la que determina la polarización de la antena, ver Figura 17-1. (Festo Didactic 2014b, p. 30)

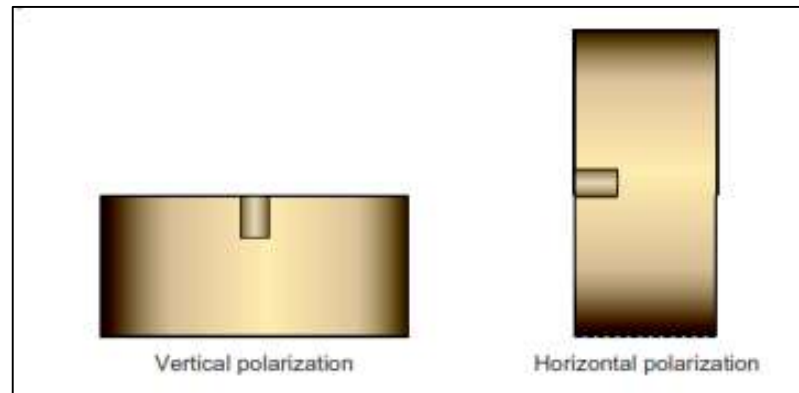


Figura 17-1. Guía de Onda polarizada horizontal y verticalmente.
Fuente: (Festo Didactic 2014b)

El soporte de la guía de ondas tiene dos pasadores metálicos que permiten que la antena se monte en el mástil para la polarización vertical u horizontal. Ver Figura 18-1.(Festo Didactic 2014b, p. 31)



Figura 18-1. Antena de bocina ensamblada.
Fuente: (Festo Didactic 2014b)

Tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente, la polarización de las antenas transmisora y receptora debería ser la misma. La intensidad máxima de la señal en la entrada del receptor ocurre cuando la polarización de la antena receptora coincide con la polarización de la onda incidente.(Festo Didactic 2014b, p. 32)

1.8.4.2 Frecuencias usadas por el sistema

El sistema tiene seis canales de frecuencia diferentes. El canal se selecciona usando el selector de canal en el transmisor y en el receptor. Para la transmisión desde el transmisor al repetidor (el enlace ascendente), y desde el repetidor a receptor (el enlace descendente), tanto el transmisor como el receptor deben estar configurados en el mismo canal. No hay selector de canales en el repetidor ya que su ancho de banda es lo suficientemente amplio como para pasar todos los canales disponibles.

Como el repetidor baja la frecuencia 2 GHz antes de retransmitir la señal, las frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente para cada canal no son las mismas. La Tabla 3-1, muestra las frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente utilizadas para cada canal. (Festo Didactic 2014b, p. 32)

Tabla 3-1. Frecuencias de enlace ascendente y de enlace descendente del equipo satelital.

	Canal	A	B	C	D	E	F	Unidad
Enlace de subida	Frecuencia (transmisor-repetidor)	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1	11.2	GHz
Enlace de bajada	Frecuencia (repetidor- receptor)	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	GHz

Fuente: (Festo Didactic 2014b)

1.9 LVSat Software Suite

El LVsat Software Suite es un paquete de programas y aplicativos incluidos en el Sistema didáctico satelital, consta de 3 programas para diferentes usos mencionados a continuación.

1.9.1 LVsat – Telemetría e instrumentación.

Este programa es una herramienta versátil que se utiliza en conjunto con el equipo de telemetría e instrumentación. Consta de la sección de Telemetría, la cual actúa como una interfaz de usuario para la medición de potencias de señal con a que está trabajando el satélite repetidor y la sección de instrumentación que funciona junto con el bloque de configuración de parámetros de transmisión analógico y digital, y a su vez conjunto a 4 aplicativos incluidos para la instrumentación y medición de parámetros.

- Osciloscopio Virtual
- Analizador de espectros
- Medidor de potencia y voltímetro RMS
- Verificador de tasa de error de bit

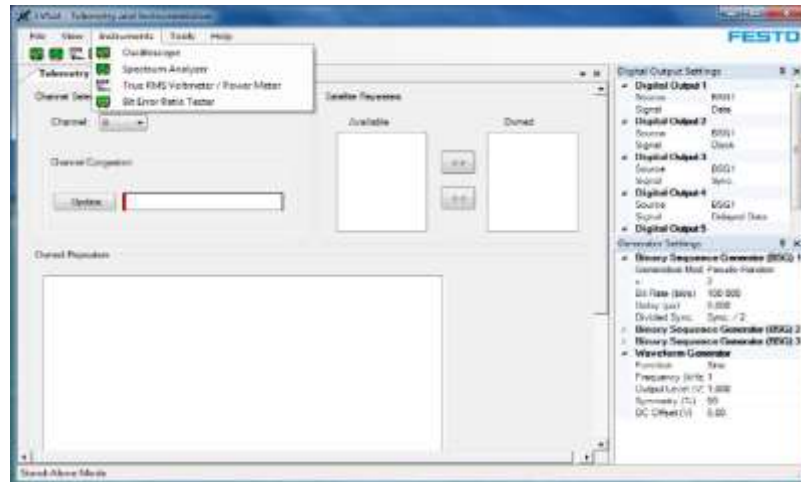


Figura 19-1. Interfaz de LVSAT-Telemetría e Instrumentación
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

1.9.2 *LVsat - Transferencia de datos*

La transferencia de datos es un subconjunto de dos programas, transmisión y recepción que de igual manera trabaja junto a los equipos de telemetría e instrumentación y principalmente los tres equipos de comunicación satelital.

El aplicativo de transmisión consta de tres secciones de trasmisión de mensajes de texto, nivel de datos meteorológicos y trasmisión de archivos en general a una velocidad de 2 Mbits/s. (Festo Didactic 2014a, p. 63)

El aplicativo de recepción trabaja a manera de complemento al aplicativo anterior y consta de las tres secciones para recibir los datos ya mencionados.

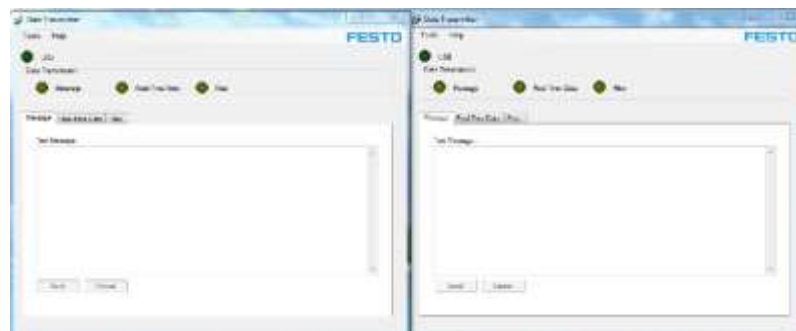


Figura 20-1. LVsat - Transmisor y Receptor de Datos.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

1.9.3 LVsat - Simulador de órbitas.

El simulador de órbitas LVSAT es una herramienta de software interactiva diseñada para ayudar a los estudiantes a visualizar y captar conceptos importantes relacionados con la mecánica y cobertura orbital de los satélites. Estos incluyen marcos inerciales y rotatorios de referencia y sistemas de coordenadas, vectores de estado satelital y elemento orbital de Kepler, el movimiento aparente de los satélites en relación con los observadores en la tierra en rotación, y las características de diferentes tipos de órbitas. (Festo Didactic 2014c, p. 4)

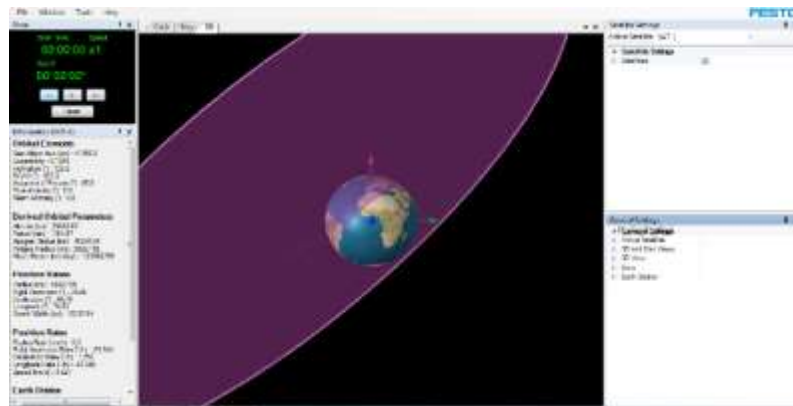


Figura 21-1. Interfaz de LVSAT- Simulador de Órbitas.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

1.10 Sistema didáctico de telefonía

El Sistema didáctico de Telefonía, ver Figura 22-1, es una poderosa herramienta de aprendizaje que brinda capacitación en redes telefónicas modernas y centrales de derivación automáticas digitales privadas (PABX).



Figura 22-1. Sistema Didáctico de telefonía modelo 8086.
Fuente: (https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/69-0860_telephony_training_system_analog_telephone)

1.10.1 Módulo didáctico reconfigurable.

El MDR es un dispositivo que usa tecnología de procesador de señales digitales (DSP), el cual puede programarse para actuar como diferentes partes de una red telefónica ya sea una oficina central digital (CO) de la red telefónica pública conmutada (PSTN) o una PABX digital. (Recurso en línea: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9431-20_reconfigurable_training_module_rtm)

Su arquitectura está conformado por un procesador digital de señales, tres ranuras de conexión de interfaces en el panel frontal, un conector Ethernet (RJ-45) en el panel posterior para la configuración de funcionalidad y adquisición de datos con el software LVTTS y su alimentación por medio de la Fuente de alimentación, modelo 9408, en el panel posterior. (Recurso en línea: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9431-20_reconfigurable_training_module_rtm)



Figura 23-1. Módulo MDR, modelo 9431

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9431-20_reconfigurable_training_module_rtm

1.10.2 Interfaz de línea analógica doble

La tarjeta 9475 es una interfaz de línea analógica doble diseñada para ser programada como una central telefónica digital (CT), esta contiene dos interfaces de línea estándar que proveen a teléfonos convencionales el acceso analógico a la central telefónica (CT) implementada con el módulo didáctico reconfigurable, los cuales se acoplan a los conectores de línea telefónica estándar (RJ-11) ubicados en el panel frontal, a estos también pueden conectar líneas de enlace analógico de PABX. (Recurso en línea: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9475-00_dual_analog_line_interface).



Figura 24-1. Interfaz de línea analógica doble modelo 9475.
Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9475-00_dual_analog_line_interface

Los puntos de prueba en el panel frontal se utilizan para observar las señales en cada línea analógica usando equipo de medición convencional. El suministro de energía CC es entregado automáticamente a la Interfaz de línea analógica doble cuando está instalada en el módulo didáctico reconfigurable. (Recurso en línea: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9475-00_dual_analog_line_interface).

1.10.3 Interfaz de teléfonos digitales

El modulo compacto modelo 9476 es una interfaz de teléfonos digitales diseñado para ser instalado en un MDR programado para funcionar como PABX digital. Opera como una interfaz de máximo cuatro teléfonos digitales (IP) conectados por medio de conectores RJ-45, además posee puntos de prueba en el panel frontal para observar las señales digitales intercambiadas por un teléfono digital y la PABX. El suministro de energía CC es entregado automáticamente a la Interfaz de teléfonos digitales cuando está instalada en el Módulo didáctico reconfigurable. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9476-00_digital_telephone_interface).



Figura 25-1. Interfaz de teléfonos digitales modelo 9476
 Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9476-00_digital_telephone_interface

1.10.4 Interfaz de enlace analógico de PABX

El modulo compacto 9477 es una interfaz de enlace analógico de PABX, la cual se inserta en el MDR programado como una PABX digital. Posee la circuitería necesaria para conectar la PABX implementada con el Módulo didáctico reconfigurable a la Central Telefónica CT implementada con otro Módulo didáctico reconfigurable, por medio de una línea de enlace analógico, a través de su conexión estándar (RJ-11), de igual manera contiene puntos de prueba y su suministro de energía corriente continua el cual es pródigo automáticamente conectándolo al MDR. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9475-00_dual_analog_line_interface)



Figura 26-1. Interfaz de enlace analógico de PABX modelo 9477
 Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9477-00_pabx_analog_trunk_interface

1.10.5 Interfaz de enlace digital

La Interfaz de enlace digital es una tarjeta instalable en una de las tres ranuras de un Módulo didáctico reconfigurable programado para trabajar como central telefónica digital. Permite la conexión de la

CT implementada con el Módulo didáctico reconfigurable a la CT implementada con otro Módulo didáctico reconfigurable, por medio de una línea de enlace digital que trabaja al nivel DS1 o E1 de MDT. Un conector ubicado en el panel frontal permite la conexión a la línea de enlace digital. Posee además puntos de prueba en el panel frontal para observar las señales digitales intercambiadas por medio de la línea del enlace digital. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9477-00_pabx_analog_trunk_interface).



Figura 27-1. Interfaz de enlace digital modelo 9478

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9478-00_digital_trunk_interface

1.10.6 Teléfonos Analógicos y Digitales

El conjunto de teléfonos incluidos en el sistema didáctico consta de dos teléfonos analógicos con características adicionales de altavoz, pantalla LCD, función de identificación de llamadas, memoria de número de teléfono múltiple que requieren de alimentación de CA a través de la fuente de alimentación, modelo 9408 para su operatividad. Además posee la conexión a la interfaz de línea analógica doble a través de cable conector RJ-11. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9485-00_analog_telephone_set).



Figura 28-1. Teléfono analógico modelo 9485

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9485-00_analog_telephone_set

El conjunto de teléfonos digitales consta de dos teléfonos de tipo RDSI solo para voz que cuenta con funciones básicas de RDSI, botones de función de llamada programables, pantalla LCD inclinable y altavoz semidúplex. (Recuperado de: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9486-00_digital_telephone_set).



Figura 29-1. Teléfono digital modelo 9486

Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/9_telecommunications/60-9486-00_digital_telephone_set

1.10.7 Fuente de alimentación CA/CC modelo 9408.

La fuente de alimentación contiene en su panel posterior dos salidas de conector multi-pin que proporcionan voltajes de CC regulados. Su panel frontal tiene dos salidas que suministran el voltaje de la red de alimentación de CA. Cada salida de conector multi-pin puede suministrar energía a un RTM. A su vez contiene fusibles de reinicio automático que protegen las salidas de la fuente de alimentación contra cortocircuitos



Figura 30-1. Fuente de alimentación CA/CC modelo 9408.
 Fuente: https://www.labvolt.com/solutions/60-9408-00_power_supply

1.11 Software LVTTS

El software LVTTS es una herramienta que opera conjuntamente con el sistema didáctico de telefonía, el cual se basa en un gestor de descarga de aplicación hacia modulo didáctico reconfigurable (MDR). A su vez posee dos interfaces dependiente de la configuración del MDR ya sea utilizado como Central telefónica (CT) o como Central telefónica automática privada (PABX).

Consta de una sección en el cual se visualizan el registro del proceso de llamadas y una sección de visualización del diagrama de bloques, circuitos y conexiones con la que cuenta tanto la central telefónica y la PABX.



Figura 31-1. Interfaz de LVTTS - Central telefónica.
 Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

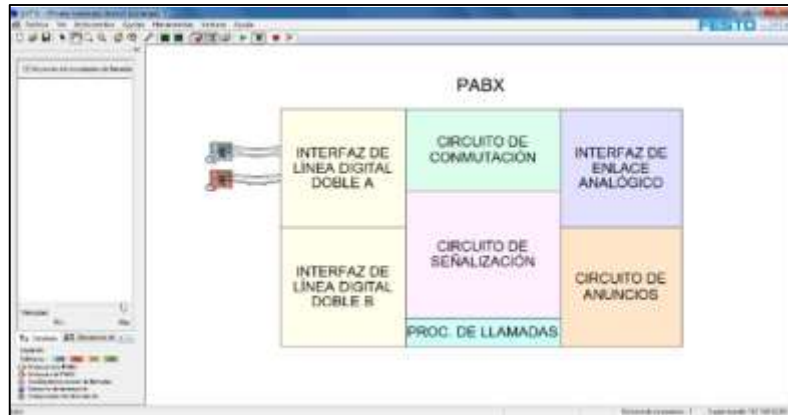


Figura 32-1. Interfaz de LVTTS - Central telefónica automática privada.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo se desarrolló en dos etapas, en la primera se trabajó con el equipo didáctico de comunicaciones satelitales analizando su funcionamiento tomando en cuenta la guía las practicas propuestas adjuntas con el dispositivo, fundamentando así cada etapa y trabajo que realiza cada uno de sus componentes, además de proponer nuevos escenarios prácticos logrando así verificar el alcance de explotación en el sistema satelital y otros sistemas de comunicación. Posterior se realizó el análisis del funcionamiento del equipo entrenador de telefonía analógico-digital basándose en el desarrollo de las tareas propuestas incluidas con el equipo.

2.1 Preparación y arranque del sistema

Primeramente se llevó a cabo la preparación y conexión de cada uno de los componentes (transmisor, receptor, satélite repetidor, equipos de telemetría, antenas) y demás elementos provistos con los que cuenta el sistema satelital, quedando funcional para la realización de los objetivos planteados en el presente trabajo de titulación.

2.1.1 Armada y conexión de componentes

Para la armada y montaje de las antenas nos guiamos en el manual del usuario y conexión provistas por el equipo satelital. Se procedió a armar las cuatro antenas de manera que trabajen con polarización vertical.

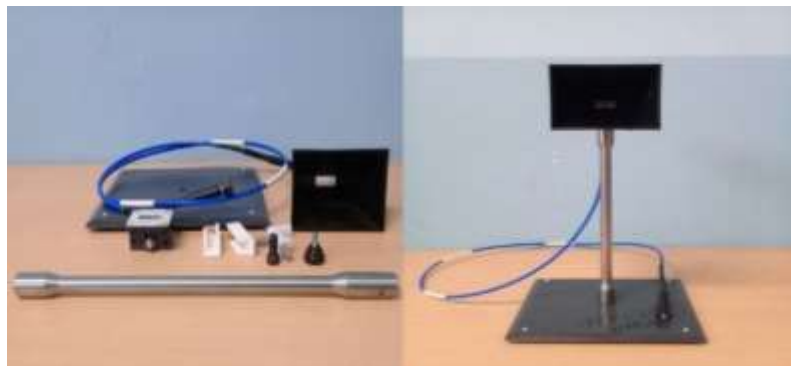


Figura 1-2. Armada de componentes.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

2.1.2 Montaje del sistema satelital

Luego de armar las antenas se montaron los equipos en el laboratorio de comunicaciones con sus correspondientes conexiones entre interfaz de adquisición y el computador que se utilizara como host y visualizador de datos transmitidos y recibidos, para el uso respectivo en las prácticas.



Figura 2-2. Montaje de equipos
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

2.2 Instalación de software LVSAT software suite

Se procedió a la instalación del software adicional con los que cuenta el equipo LVSAT SOFTWARE SUITE sobre un sistema operativo Windows, el cual está diseñado para la telemetría e instrumentación de la comunicación satelital.

Para comenzar con la instalación se siguen los siguientes pasos:

1. Insertar el CD-ROM del LVSat en el computador que servirá como equipo de telemetría y control de datos a enviar.
2. En el sistema operativo Windows XP, 7, 8, ó 10, abrimos el CD RW y comenzamos el proceso de instalación con el archivo ejecutable.”setup”.
3. Siga las instrucciones en la pantalla de la computadora para completar la instalación.
4. Una vez instalado se crean las aplicaciones en la ventana del escritorio.

2.3 Función de telemetría e instrumentación LVSAT asistida por el ordenador

2.3.1 Osciloscopio

Con la ventana del Osciloscopio se puede mostrar hasta cuatro formas de onda simultáneamente. Siendo visualizadas cada una de las formas de onda con diferentes colores ayudando a la fácil identificación, además esta ventana muestra iconos que acceden a imprimir las formas de onda, regeneración simple, regeneración continua, almacenamientos de memorias 1 y 2, visualización de la última adquisición y visualización de memorias, ver la Figura 3-2.

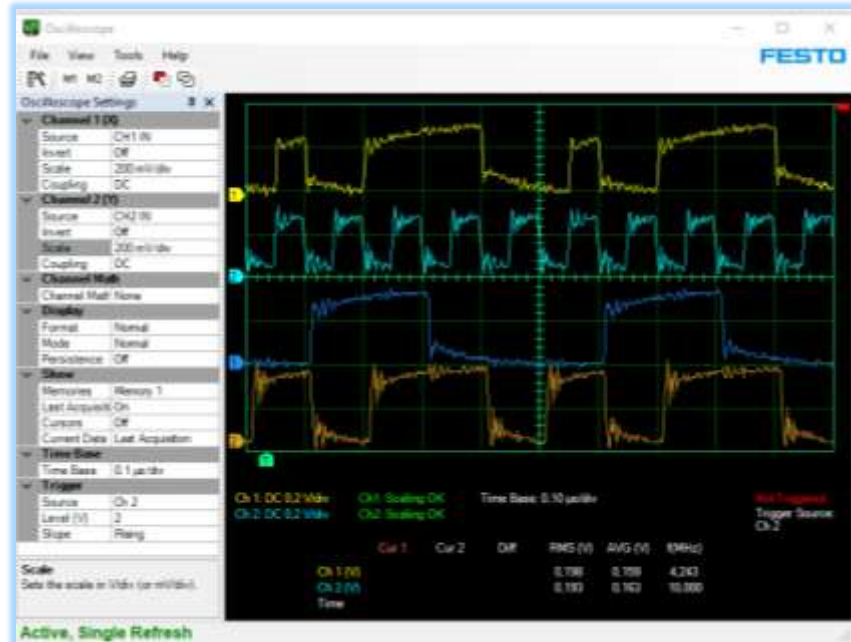


Figura 3-2. Interfaz de instrumento virtual del osciloscopio.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

Cada canal consta con mandos independientes ubicados verticales de manera que se asemejan a los dispuestos en osciloscopios convencionales. Provee de la selección de la cuenta (canal 1 o 2), invertir o no la señal, acoplamiento en AC o DC, de una escala configurable automáticamente y de forma manual, que permite que a cada canal dependiendo de su sensibilidad ser ajustada según la magnitud del parámetro observado. El tiempo base y disparo son similares a aquellos encontrados en la mayoría de los osciloscopios, con selección de fuente, nivel de voltaje y pendiente para cada canal de disparo.

Incluye la visualización de valor de cada uno de los parámetros de RMS, el valor medio, y la frecuencia en una tabla en la ventana del Osciloscopio. Además contiene dos cursores verticales que se pueden activar para realización de mediciones exactas de manera puntual sobre las formas de onda mostradas.

2.3.2 *Analizador de espectros*

Con la ventana del analizador de espectros se puede mostrar hasta tres espectros de frecuencia de varias señales simultáneamente. Siendo visualizadas cada uno de sus espectros con diferentes colores ayudando a su fácil identificación, además esta ventana muestra iconos que permiten imprimir, regeneración simple, regeneración continua, almacenamientos de memorias 1 y 2, visualización de la última adquisición y visualización de memorias, ver la Figura 4-2.

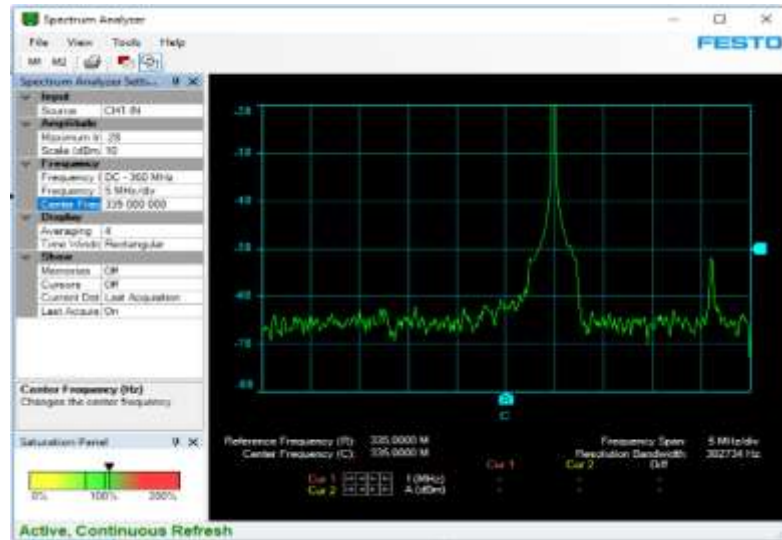


Figura 4-2. Interfaz de instrumento virtual del analizador de espectros.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

Cada canal incluye mandos independientes ubicados verticales de manera que se asemejan a los dispuestos en un analizador de espectros convencionales. Provee de la selección de la fuente de entrada (canal 1 o 2), valores a modificar como su frecuencia central, rango de frecuencia final e inicial, spam o rango de frecuencia a mostrarse en pantalla no más de 11Ghz, nivel de amplitud logarítmica y escala por división, tiempo de ventana para minimizar el error posible en recuperación del espectro ya sea de manera rectangular o hamming, ayudado de su promediado de fluctuaciones del espectro visualizado.

En la parte inferior se visualiza información de valor de cada uno de los parámetros de configurados, los valores de frecuencia respectivos, Asimismo contiene dos cursores verticales que se pueden activar para realización de mediciones exactas de manera puntual sobre las formas de onda mostradas.

2.3.3 Medidor de potencia y voltímetro RMS

Utilizamos esta aplicación para mostrar los niveles de potencia del sensor de alimentación de cada módulo de RF en el sistema de comunicaciones por satélite.



Figura 5-2. Interfaz de instrumento virtual del medidor de potencia y multímetro

Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

Lo podemos configurar de modos que actué como voltímetro en V o mV, o medidor de potencia midiendo la tensión de dc en la salida del sensor de alimentación de cada módulo, convirtiéndola en un nivel de potencia en dBm.

2.3.4 Verificador de tasa de error de bit

Configuramos esta aplicación para cuantificar errores durante la transmisión digital. Este instrumento funciona comparando los datos transmitidos con los datos recibidos bit por bit. Cada vez que un bit en los datos de prueba es diferente del bit correspondiente en los datos de referencia, el re cuenta de errores se incrementa, mostrando finalmente la relación de errores a la cantidad total de bits probados.

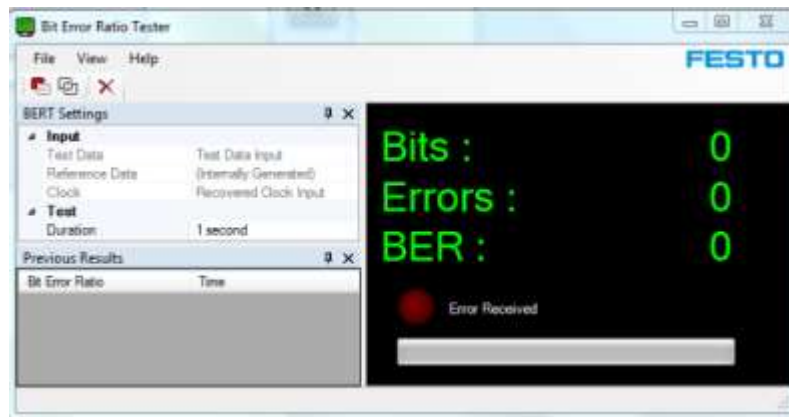


Figura 6-2. Interfaz de instrumento virtual de verificador de BER

Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

2.4 Análisis de funcionamiento del sistema entrenador satelital

Se desarrolló cada una de las practicas propuestas incluidas en el equipo satelital para verificar el funcionamiento respectivo.

2.4.1 *Sistemas de comunicación satelital*

Se desarrolló este procedimiento para familiarizarse con el funcionamiento básico de un sistema de comunicaciones vía satélite y con el sistema de formación virtual que se utilizarán a lo largo del desempeño de las prácticas.

2.4.1.1 *Optimización de la alineación de las antenas*

El proceso de optimizar la alineación de las antenas se basó en la realización de las conexiones tal y como se muestran en la Figura. 7-2.

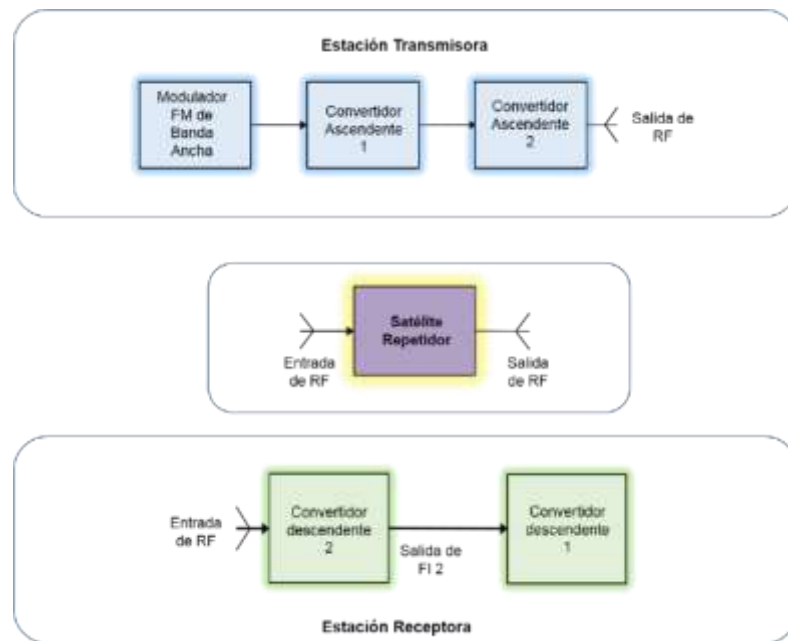


Figura 7-2. Diagrama de conexión para alineación de antenas
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se procedió a alinear las antenas conectadas tanto al transmisor, en el satélite repetidor y en el receptor de manera que los tres LED del sensor de potencia en el repetidor de satélite proporcionaran una indicación relativa del nivel de potencia recibido. De igual manera se corroboró la alineación y potencia de señal recibida con la aplicación del voltímetro / medidor de potencia aplicándola al receptor de la estación terrena.

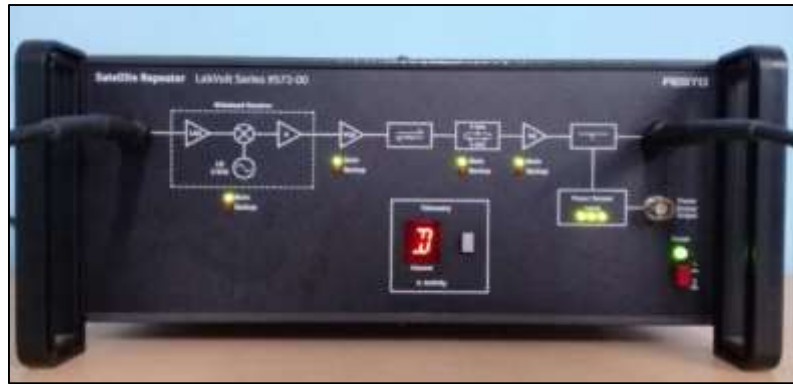


Figura 8-2. Nivel de potencia en alineación.
Realizador por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.1.2 Trasmisión analógica

Para familiarizarse con la transmisión analógica y los equipos a utilizar nos guiamos en el diagrama de conexiones como se muestra en la Figura 9-2.

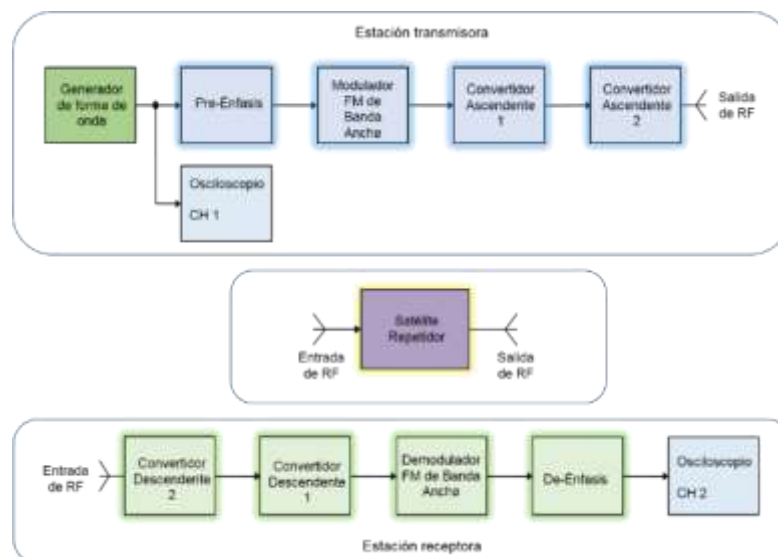


Figura 9-2. Diagrama de conexiones para transmisión de señal analógica.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Para generar la forma de onda se utilizó la aplicación Telemetría e instrumentación instalada, además de realizarse las respectivas configuraciones con la ayuda del instrumento virtual del osciloscopio para la visualización de las formas de onda, el cual se encuentra en la ya mencionada aplicación, configurándolas de la siguiente manera:

Se configuro el generador de onda para crear una forma de onda sinodal con una frecuencia de 1 Mhz y un voltaje de salida de 1 V, visualizándose las señales transmitidas y recibidas como se observa la

Figura 10-2, comprobando así el funcionamiento de la transmisión y recepción utilizando modulación analógica FM

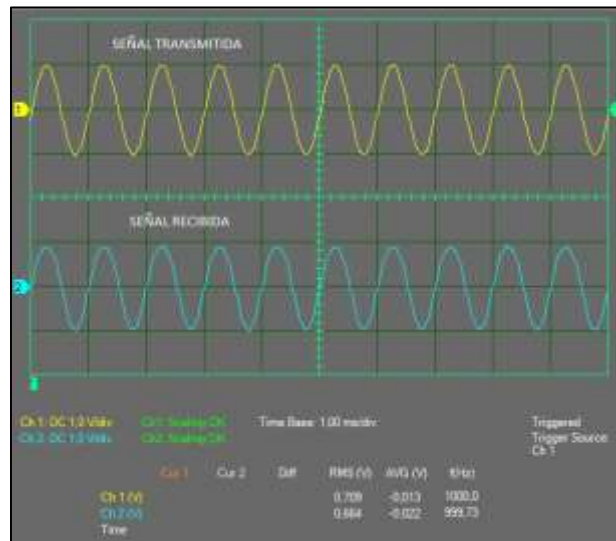


Figura 10-2. Señal sinusoidal transmitida y recibida.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.1.3 Bucle costas DQPSK

Para familiarizarse con la comunicación digital usada en el sistema entrenador satelital como primer punto a tratar se llevó a cabo el análisis del tema bucle costas, que es una técnica que se utiliza para recuperar la señal en la frecuencia y fase correctas en el proceso de demodulación.

Dado que en todas las formas de modulación PSK trabajan con una modulación de portadora suprimida, y el receptor de estación terrena utiliza para la recuperación de su información la técnica de bucle costas, en esta sección se procedió a bloquear manualmente el bucle costas guiándose en la conexión como se observa en la Figura 11-2.

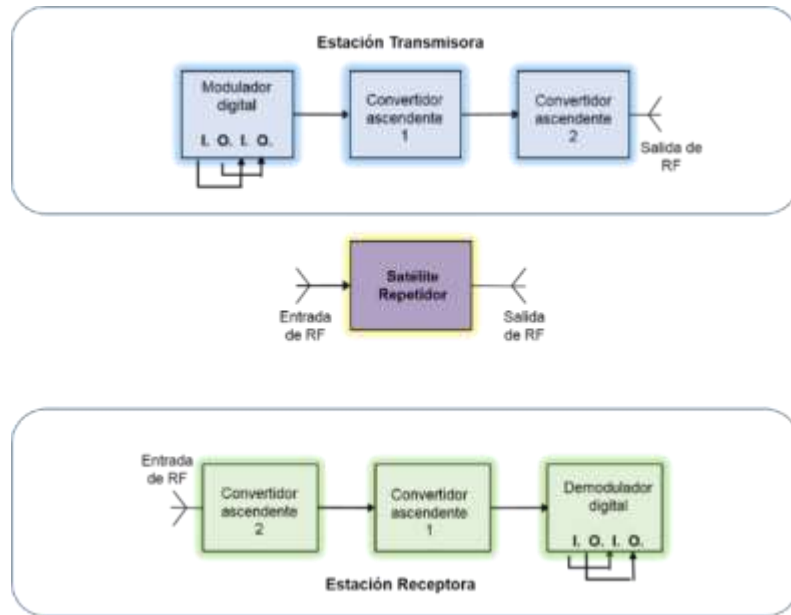


Figura 11-2. Diagrama de conexión mínima para bloquear el bucle costas QPSK.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Los equipos transmisor y receptor de estación terrena, se configuraron para que trabajen de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 1-2 y Tabla 2-2.

Tabla 1-2. Configuración de transmisor de estación terrena.

Canal	D (cualquier canal)
Origen de datos	Mux (Mux o sampler)(Cualquier elección)
Scrambler (aleatorizado)	Encendido

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 2-2. Configuración del receptor de estación terrena.

Canal	D (el mismo del equipo transmisor)
Descrambler (desaleatorizado)	Encendido
Frecuencia central	Posición Media
Ganancia	Ajuste hasta que de led verde encendido

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se finalizó el procedimiento bloqueando el bucle costas girando la perilla de la frecuencia central del bucle costas del DQPSK de extremo a extremo a manera pausada hasta que el led de sincronización del Demux TDM se encienda, indicando que el bucle está bloqueado como se observa en la Figura 12-2, una vez bloqueado la perilla de frecuencia central se colocó en la posición media.



Figura 12-2. Led encendido de bloqueo de bucle costas
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.1.4 Transmisión y recepción digital con bloqueo y sin bloqueo del bucle costas

Se realizó una prueba de transmisión y recepción digital de una secuencia de datos, para visualizar el funcionamiento del bloqueo del bucle costas DQPSK en el receptor de la estación terrena, basándose en la conexión como se muestra en la Figura 13-2.

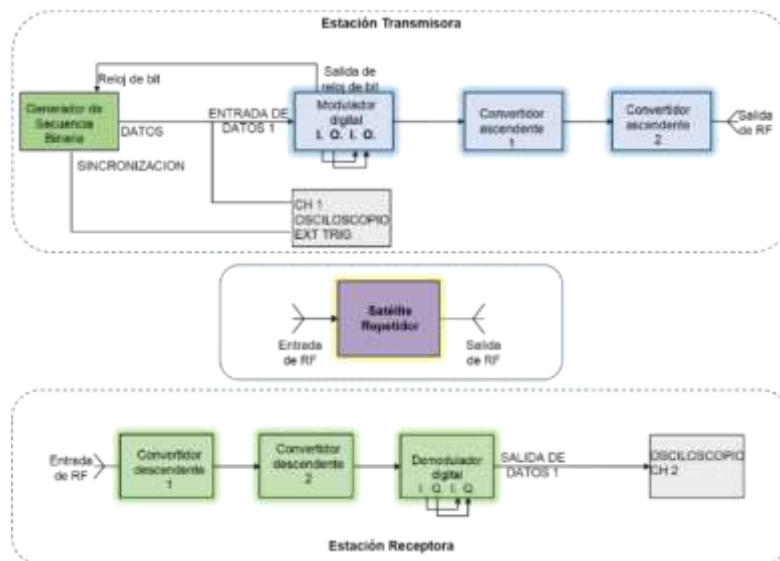


Figura 13-2. Diagrama de conexión mínima para bloqueo del bucle costas
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Posterior a la conexión se configuro el generador de secuencia binaria (BSG 1) para producir una secuencia pseudo-aleatoria de 15 bits de longitud ($n=4$), a una velocidad de bits de 100000 bits/s. Además se configuro las salidas digitales respectivas como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Configuración del generador de secuencia binaria

Salida digital 1	
Fuente	BSG 1
Señal	Datos
Salida digital 3	
Fuente	BSG 1
Señal	Sincronización

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En las estaciones terrenas se realizaron los ajustes correspondientes como se muestra en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Configuración de estación transmisora y receptora

Transmisor	
Canal	C
Fuente de datos	Sampler
Scrambler (aleatorizador)	Encendido
Clock & Frame Encoder	Encendido
Receptor	
Canal	C
Descrambler (desaleatorizador)	Encendido
Clock & Frame Decoder	Encendido
Ganancia	Led verde encendido (posición media)
Frecuencia Central (bucle costas)	Posición media

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

A continuación, se observó en la Figura 14-2 las formas de onda de la secuencia de datos enviada y recibida en la ventana del osciloscopio del instrumento virtual, comprobando el funcionamiento de transmisión y recepción utilizando la modulación digital.

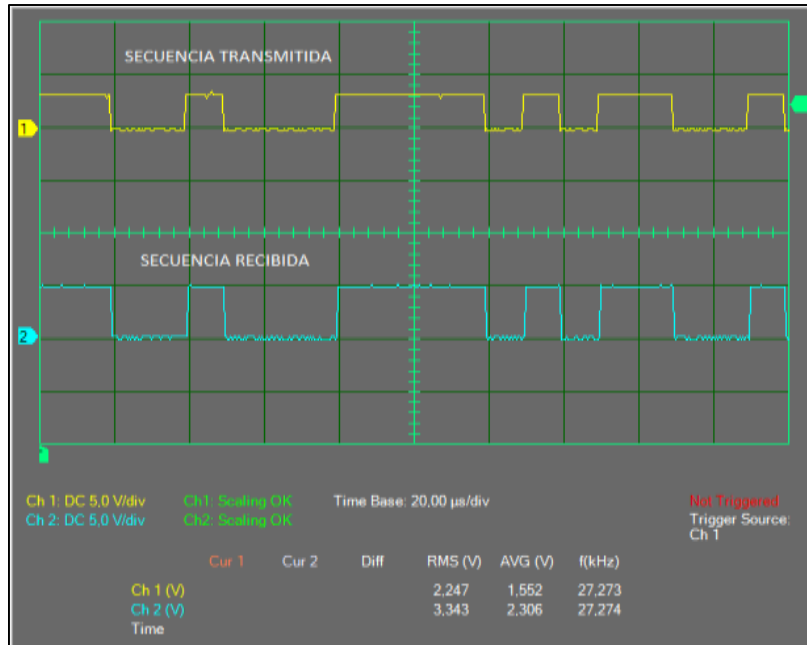


Figura 14-2. Transmisión y recepción de secuencia binaria
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El bucle costas de la estación terrena bloqueado calcula la frecuencia de la portadora suprimida guiándose en las bandas laterales y sus posiciones en el espectro de frecuencia, así recupera las señales en el receptor, de no estar bloqueado el bucle de costas el receptor no recuperara la señal correcta de la secuencia de datos como se muestra la Figura 15-2.

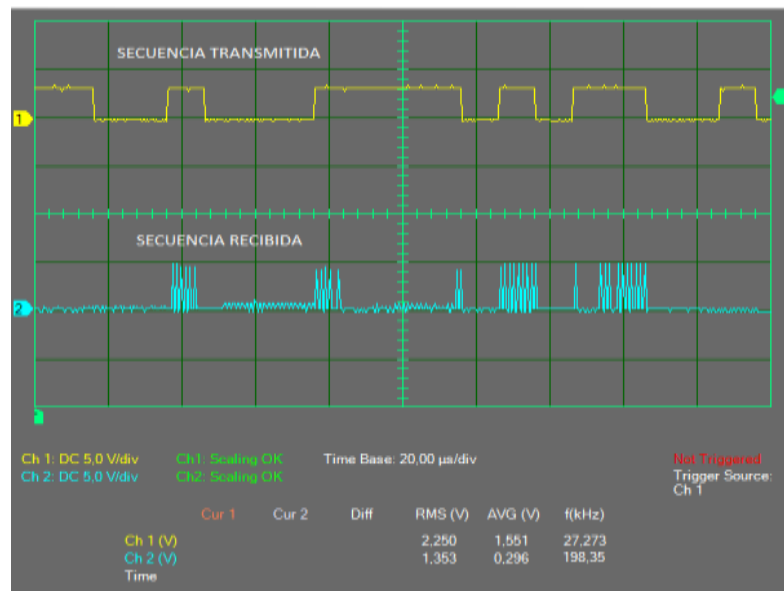


Figura 15-2. Transmisión y recepción sin bloqueo del bucle costas
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.2 Estación terrena satelital

Se desarrolló el siguiente ejercicio para examinar los componentes utilizados en el proceso de cambios de niveles de frecuencias en una estación terrena, además de medir niveles de frecuencia y potencia utilizados por el sistema entrenador satelital.

2.4.2.1 Frecuencias IF y RF y niveles de potencia

En esta sección, se configuro la señal de modulación a un nivel de voltaje de 0 v para generar una portadora no modulada a la frecuencia central de 1Mhz, tomando en cuenta que con este nivel de voltaje el modulador FM de banda ancha modula la frecuencia de un VCO de acuerdo con la amplitud de voltaje de la señal de modulación, para medir cada uno de las frecuencias y potencias en cada canal de transmisión tanto en transmisión y recepción, basándose en la conexión como se muestra en el diagrama de conexiones de la Figura 16-2.

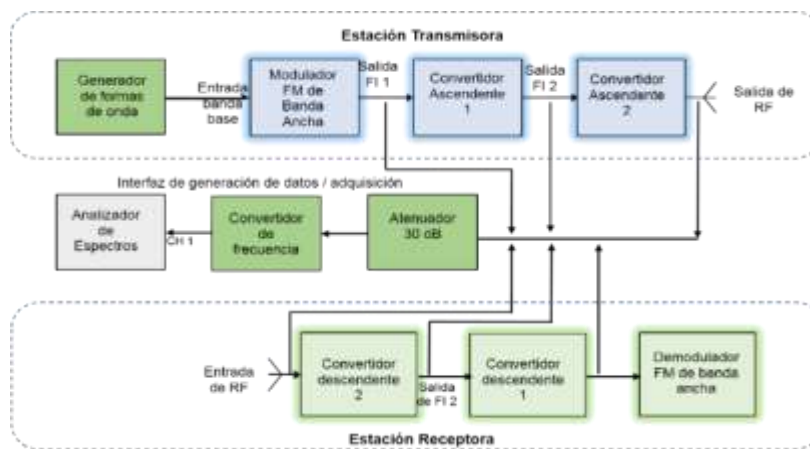


Figura 16-2. Diagrama de Conexión mediciones de frecuencias
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Para lograr observar el espectro de la señal en cada salida a medir se procedió a conectar y desconectar temporalmente cada salida para realizar la medición respectiva, además de cambiar temporalmente cada canal de transmisión y recepción conjuntamente.

En base a las mediciones realizadas a partir de una señal portadora no modulada se obtuvo los valores de frecuencia y potencia de la portadora, a estos valores se le resto el valor de atenuación de entrada al analizador de espectro como se muestra en la Tabla 5-2, a su vez se observó diferentes espectros de cada canal y niveles de frecuencia como se muestra en el Anexo A trasmisión, y Anexo B recepción.

Tabla 5-2. Niveles de Frecuencias y potencia de portadora para cada canal de transmisión

MÓDULO	SEÑAL	FRECUENCIA PORTADORA.						POTENCIA DE PORTADORA (dBm)
TRANSMISOR	Salida FI 1	339.49 MHz						7.41
	Salida FI 2	1.559 GHz						0.59
	CANAL	A	B	C	D	E	F	D
	Frecuencia de salida de RF	10.699 GHz	10.799 GHz	10.899 GHz	10.999 GHz	11.099 GHz	11.199 GHz	- 1.25
RECEPTOR	Frecuencia de Entrada de RF	8.698 GHz	8.798 GHz	8.898 GHz	8.998 GHz	9.098 GHz	9.198 GHz	- 45.36
	Salida FI 2	1.559 GHz						-16.56
	Salida FI 1	281.56 MHz						En máx. Ganancia: - 0.76 En min. Ganancia: -27.1

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.3 Carga útil y telemetría satelital

Este ejercicio se llevó a cabo para determinar la ganancia del satélite repetidor a través de la medición de las potencias en la entrada y salida de RF del satélite repetidor.

2.4.3.1 Características del repetidor

Para las conexiones en esta sección, la guía de prácticas provistas por el equipo propone realizarlo de dos maneras, dependiendo si se quiere trabajar con un instrumento convencional o si se quiere desmontar y cambiar el lugar del módulo transmisor y repetidor satelital. La Figura 17-2, muestra la conexión de los módulos teniendo en cuenta la utilización de un analizador de espectros externo.

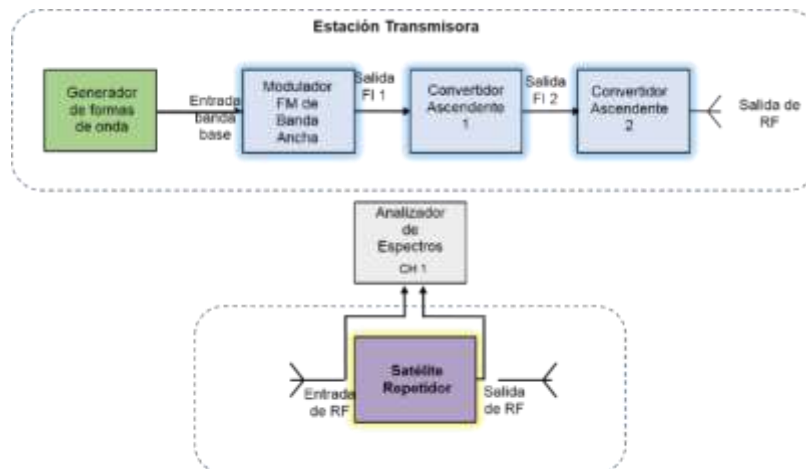


Figura 17-2. Diagrama de conexión medición con analizador del instrumento virtual.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Seleccionando cada canal por turnos tanto en el repetidor como transmisor, se registró el nivel de potencia y frecuencia en la entrada y salida del satélite repetidor como se observa en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Ganancia del satélite repetidor

CANAL	Fin (GHz)	Fout (GHz)	Pin (dBm)	Pout (dBm)	G (dB)
A	10.699	8.698	-36.721	-9.562	27.16
B	10.799	8.798	-34.856	-8,772	26.08
C	10.899	8.898	-34.205	-10.948	23.26
D	10.999	8.998	-37.231	-11.662	25.57
E	11.099	9.098	-34.676	-13.461	21,22
F	11.199	9.198	-32.556	-11.466	21.09

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Dado estos parámetros, se calculó la ganancia aplicando la Ecuación 1-2, tomando sin tomar en consideración las pérdidas en los cables en el enlace de subida y bajada.

$$G_{rep} = (P_{out}) - (P_{in}) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

2.4.4 Procesamiento y modulación de banda de base analógica

En este ejercicio se realizó las configuraciones necesarias para poder observar de qué forma está compuesta una señal de modulación FM de banda estrecha y banda ancha, de manera que se trabajó con el transmisor y receptor de estación terrena y de la interfaz de generación de datos y adquisición.

2.4.4.1 Modulación FM

Se realizó la configuración como se muestra en el diagrama de bloques de conexión en la Figura 18-2.

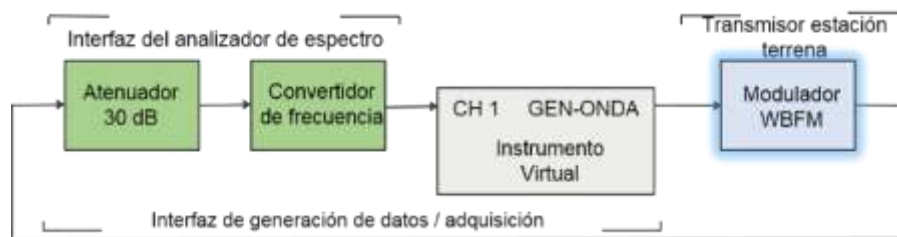


Figura 18-2. Diagrama de conexión para visualización del espectro de una señal FM
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Como se observa en la Figura 19-2, notamos que generando una portadora modulada a partir de una señal de modulación de 1 MHz con un nivel de voltaje de 0,01 V, y una portadora con VCO de 340 MHz, se tiene como resultado una modulación en frecuencia modulada de banda estrecha.

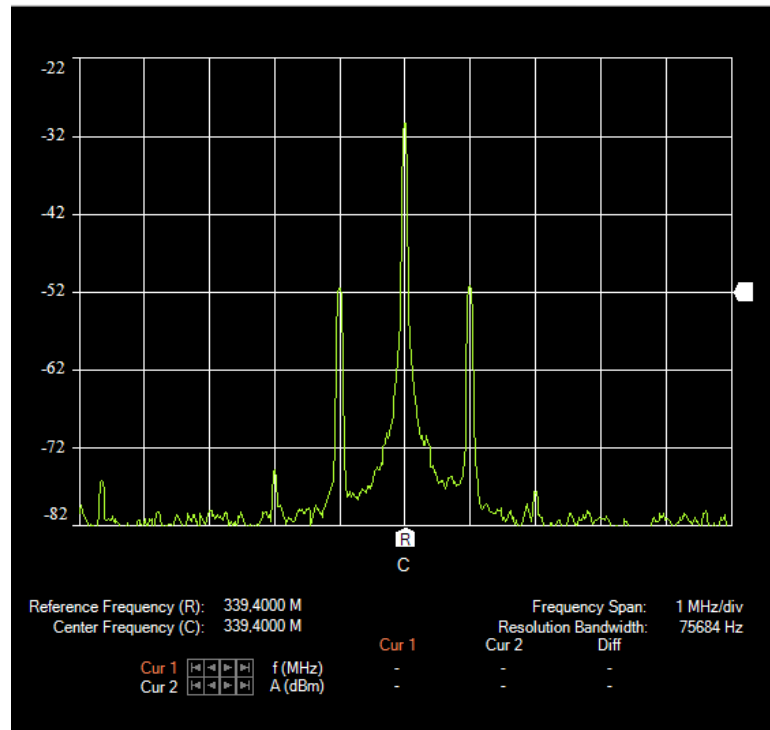


Figura 19-2. Espectro de señal NBFM
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El espectro contiene un pico alto en la frecuencia de la portadora y dos bandas laterales su separación es igual a la frecuencia de señal de modulación

Para modular la frecuencia de una portadora en Fm existen diferentes métodos como por ejemplo la modulación WBFM (Modulación FM de Banda Ancha) de generación directa, la cual utiliza un oscilador controlado por voltaje (VCO), cuya frecuencia varía con el voltaje de la señal aplicada.

En el transmisor, este modulador consiste en un preamplificador de la banda base, un filtro de paso bajo utilizado para limitar la banda de la señal de modulación, y la etapa de modular una portadora de 340 MHz con la señal entrada de banda base para producir la señal de frecuencia intermedia baja (IF 1) como se muestra en el diagrama de la Figura 20-2, el ancho de banda en esta sección es de aproximadamente 10 MHz.

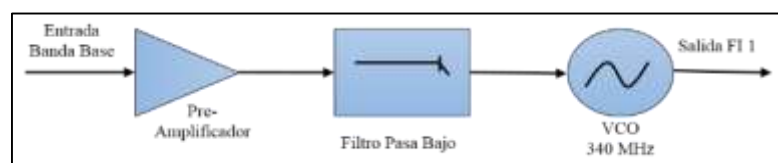


Figura 20-2. Diagrama de bloques de WBFM de generación directa.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.4.2 Sensibilidad del modulador y ancho de banda

Posterior a aquello se ajustó la amplitud de la señal de modulación a 0V y se fue incrementando gradualmente el nivel de voltaje hasta visualizar líneas espectrales y que el componente de frecuencia en la frecuencia sea anulado trabajando a 1MHz, de manera que se fue representando los dos primeros valores de los nulos e índice de modulación como se visualizan en la Tabla 2-1 del capítulo 1 de coeficientes nulos de Bessel.

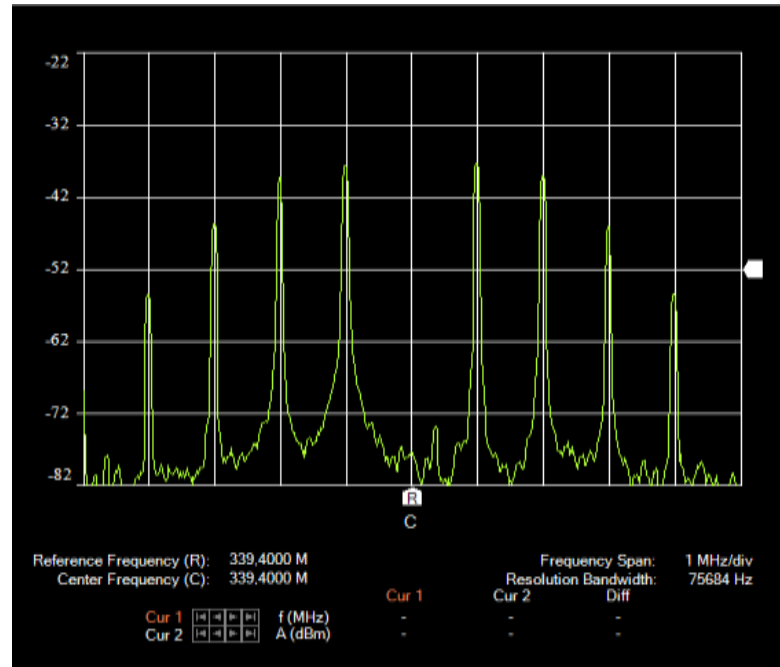


Figura 21-2. Espectro de frecuencia de portadora anulada (suprimida)
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

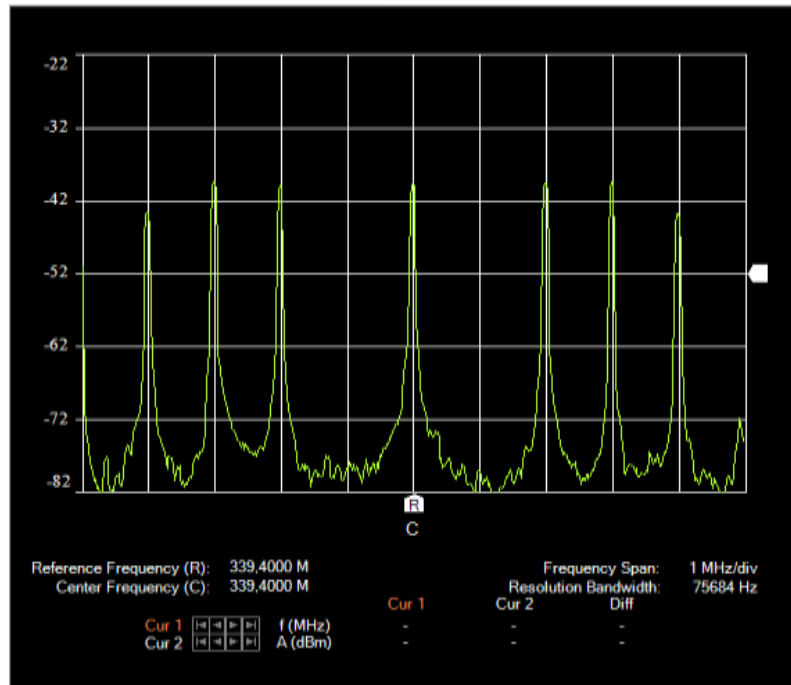


Figura 22-2. Espectro de FM con el primer par de bandas laterales anulado.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

A medida que aumentamos la amplitud de la señal de modulación, hay más bandas laterales separadas consecutivamente a la distancia igual a la frecuencia de la señal de información como se muestra en la Figura 21-2, en el que se observa una modulación en frecuencia de banda ancha (WBFM) con índices de modulación (β) por encima del valor de 1.

Este cambio en la amplitud hace que la potencia de la señal se concentre en un ancho de banda más grande y no relativamente en la portadora como sucede en la modulación FM de banda angosta (NBFM).

Con el fin de medir el ancho de banda estimado, provistos por el analizador de espectro del instrumento virtual, se ajustó una forma de onda sinusoidal a una frecuencia de 0,5 MHz con niveles de voltaje gradualmente incrementados entre (0 - 0,4) V, observando los valores nulos en los componentes espectrales como se observa en los gráficos del Anexo C, del cual se obtuvo los valores como se muestra en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2. Ancho de banda de una señal Fm de 500 kHz.

Índice de Modulación β	Amplitud de la señal de modulación A_m	Ancho de banda Estimado B (MHz)
3.8	0.181	4.97
5.1	0.243	6.02
5.5	0.260	6.96
6.4	0.301	7.02
7.0	0.330	8.03

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.4.3 Etapa de pre-énfasis y de-énfasis

Teniendo en cuenta que el ruido produce mayor interferencia para frecuencias moduladoras altas, este problema puede ser corregido en una etapa antes de la modulación, siendo minimizado reforzando la amplitud de las señales moduladoras, a esta se le llama etapa de Pre-énfasis.

Esta etapa consiste en hacer pasar la señal banda base, moduladora de información a través de una red resistencia-capacitor RC, filtro pasa altos propiamente dicho que fortalece linealmente la amplitud de las frecuencias que están por encima de los 2.123 Hz simétricamente con el valor de la frecuencia.

Para esta sección del ejercicio se realizó la siguiente conexión de los módulos tanto de transmisión y recepción terrena junto con la interfaz de generación de datos y adquisición, como se observa en la Figura 23-2.

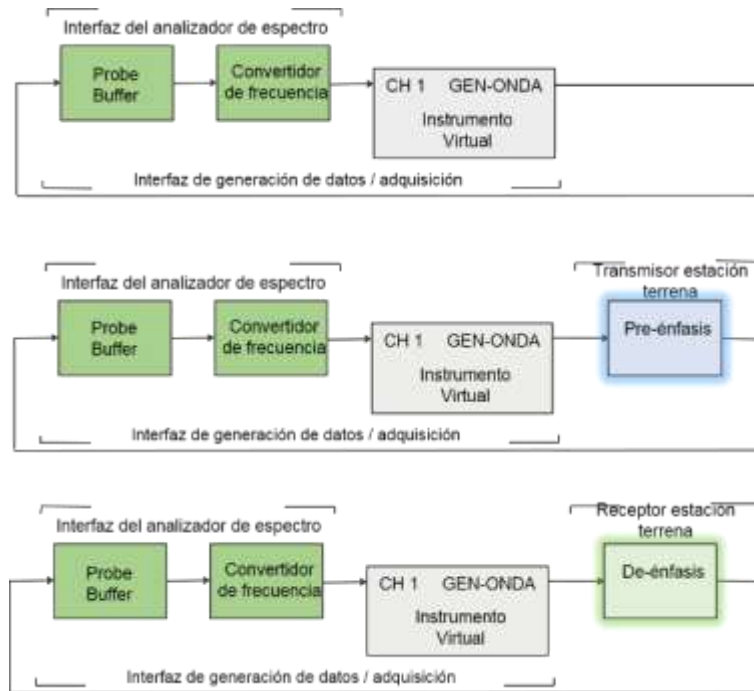


Figura 23-2. Diagrama de bloques de conexión para respuestas de impulso de filtros

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se configuro el generador de forma de onda de la interfaz de generación de datos y adquisición para generar ruido blanco tal como se muestra en la Tabla 8-2, tanta en el transmisor como el receptor y así visualizar la respuesta en frecuencia utilizada en las etapas de pre-énfasis y de-énfasis de las estaciones terrenas.

Tabla 8-2. Configuración de generador de onda.

Función	Ruido Blanco
Nivel de salida (voltaje)	0,1 V

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El procesamiento de las señales de banda base antes de la modulación en el transmisor y después de la demodulación en el receptor, es una etapa que se utiliza para mejorar la calidad del enlace.

La etapa de Pre-énfasis es una técnica de procesamiento de banda base que se usa para reducir el ruido de alta frecuencia en la señal FM demodulada, como se observa en la Figura 24-2, la respuesta de frecuencia del ruido blanco aumenta progresivamente, atenuando las bajas frecuencias y amplificando las frecuencias altas en la señal de modulación. A su vez el filtro de de-énfasis tiene una respuesta que aumenta las bajas frecuencias y atenúa las altas frecuencias, restaurando la

distribución de frecuencia original y al mismo tiempo atenuando los componentes de ruido de alta frecuencia.

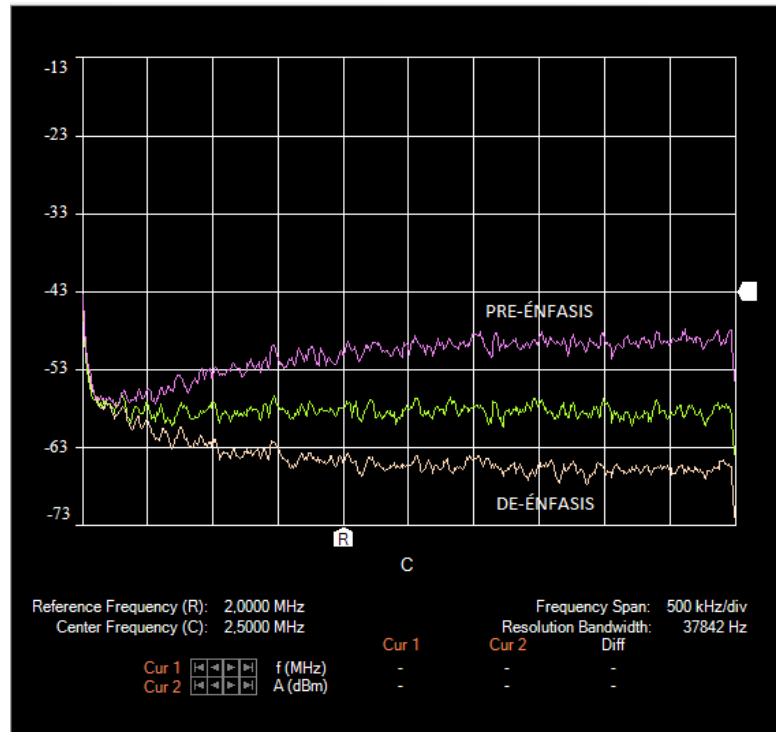


Figura 24-2. Respuesta en frecuencia de filtro pre-énfasis y de-énfasis

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.5 *Procesamiento de banda de base digital*

Con la realización de este ejercicio se analizó las diversas técnicas de procesamiento que atraviesa una señal digital de banda base antes de llegar al proceso de modulación en el transmisor de una estación terrena satelital.

2.4.5.1 *Ajuste de compensación de la sonda*

Para esta sección y posteriores se trabajó con mediciones a través de puntas de prueba (sondas), para observar las señales digitales de alta frecuencia en el osciloscopio.

En primera instancia para lograr tener una excelente respuesta en frecuencia ajustamos la atenuación de la sonda a x10, visualizando así las amplitudes diez veces mayores a las originales para lograr una excelente representación gráfica en la pantalla del osciloscopio. A continuación se compenso la punta de prueba utilizando el siguiente proceso:

- Se conectó la sonda en una de las salidas digitales en la interfaz de adquisición /generación de datos y se ajustó la atenuación de la sonda para x10.
- Conectamos el otro extremo de la sonda la punta con un adaptador BNC (incluido en el instrumento virtual) al canal 1 o 2 del Instrumento Virtual, modelo 1250-A0.

Configuramos uno de los BSG (generador de secuencia binaria) del instrumento virtual para generar una serie de 1s y 0s alternantes en la salida digital a la que se conectó la punta de prueba como se muestra en la Tabla 9-2.

Tabla 9-2. Configuración de secuencia binaria

Salida digital 1	
Fuente	BSG 1
Señal	Datos
Generador de secuencia binaria (BSG 1)	
Modo de generación	Entrada de usuario
Secuencia Binaria	10101
Velocidad de Bit	20 000 000 bit/s

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Para la compensación de la señal se utilizó una herramienta no magnética de ajuste proporcionado con la punta de prueba como se observa en la Figura 25-2, y compensamos la sonda como se muestra en la Figura 26-2.



Figura 25-2. Destornillador no magnético y punta de prueba atenuadora.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

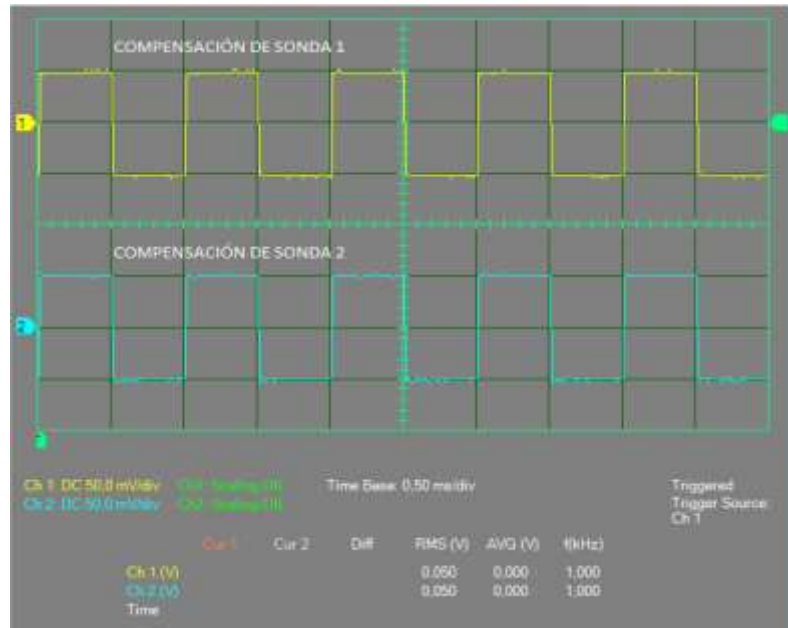


Figura 26-2. Punta de prueba compensada.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.5.2 Multiplexación por división de tiempo (TDM MUX)

El modulador digital incluye una sección para el procesamiento de la señal de banda base el cual ingresa a través de un multiplexador TDM de (4-1), como se observa en la Figura 27-2, cuatro entradas que permiten una multiplexación por división de tiempo de cuatro flujos de datos y una salida, además consta con dos señales de control, una señal de reloj de bit de 20 MHz que es generada por el bloque temporizador, y una señal de encuadre el cual tiene la función de agregar una secuencia de bits fija a la secuencia de datos, que posteriormente servirá para la recuperación de la trama en el demultiplexor.

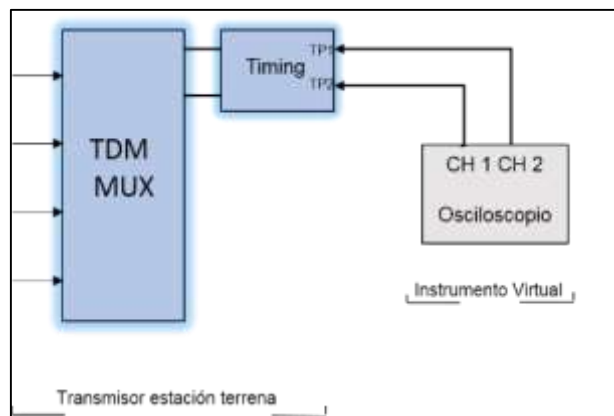


Figura 27-2. Multiplexador de 4-1
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se configuro el osciloscopio para visualizar las señales de tiempo de encuadre y reloj de bit, como se observa en la Figura 28-2, esto se logra sin realizar ninguna conexión a las entradas del módulo.

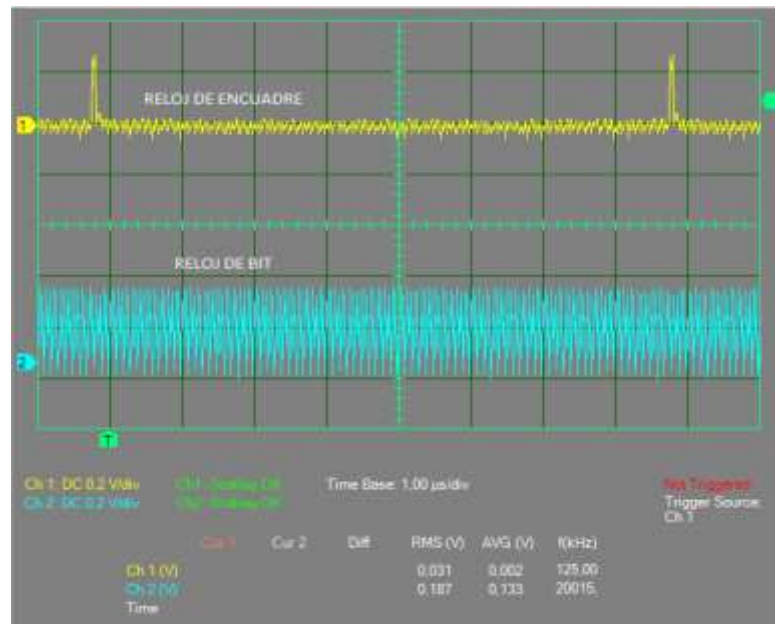


Figura 28-2. Reloj de encuadre y reloj de bit.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Posterior se realizó la configuración del generador de secuencia binario como se muestra en la Tabla 10-2, y se realizó las conexiones como se muestra en la Figura 29-2, para poder observar cómo se multiplexan en el tiempo los datos ingresados.

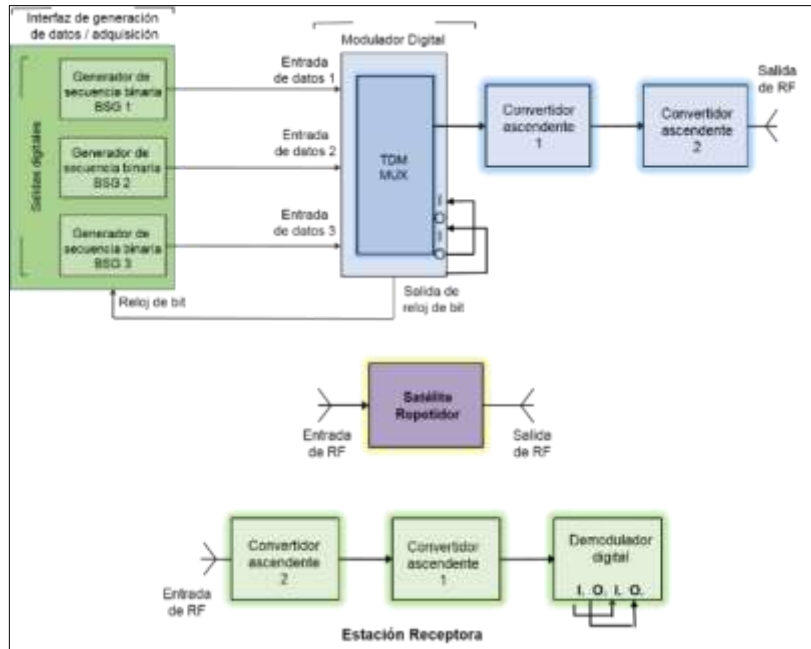


Figura 29-2. Diagrama de conexión para transmisión de señal con multiplexación por división de tiempo.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 10-2. Configuración de secuencias binaria salidas digitales

Generador de secuencia Binaria BSG 1	
Secuencia binaria	1100 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s
Generador de secuencia Binaria BSG 2	
Secuencia binaria	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s
Generador de secuencia Binaria BSG 3	
Secuencia binaria	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se realizó las conexiones del osciloscopio del instrumento virtual con las sondas y se logró observar en la pantalla la representación de los datos multiplexados con el reloj de encuadre y el reloj de bit como se muestra en el Figura 30-2 y Figura 31-2.

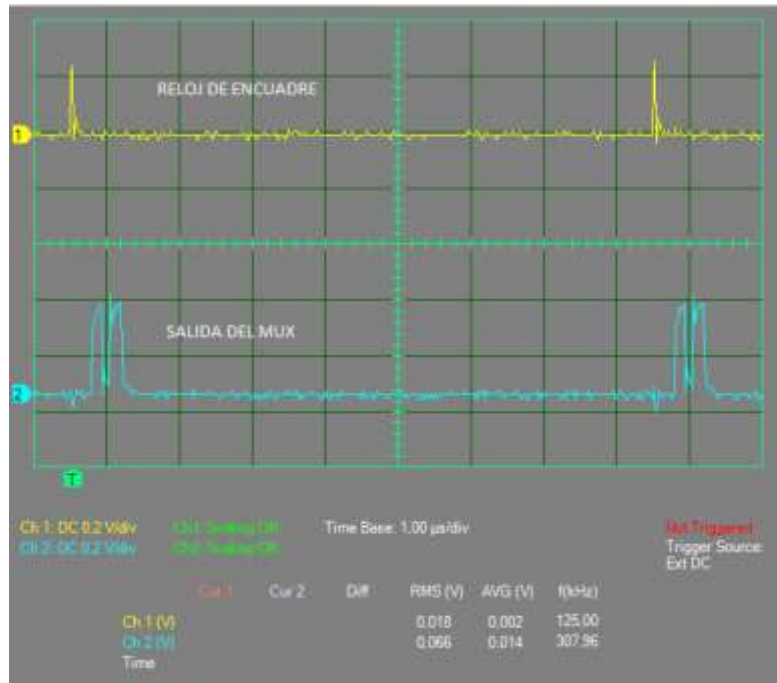


Figura 30-2. Reloj de encuadre y salida del TDM MUX.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

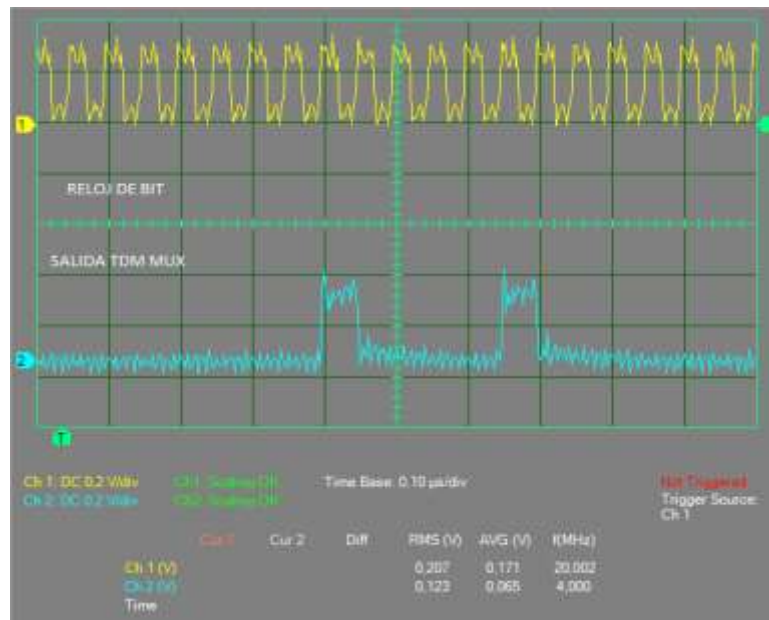


Figura 31-2. Reloj de bit y salida del TDM MUX.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El TDM MUX actúa como un interruptor de múltiples posiciones, explorando secuencialmente los flujos de datos en sus entradas y luego conecta cada flujo a la salida de datos de manera turnada durante un intervalo de tiempo, esto lo realiza con el control de la señal del reloj de 20 MHz.

Un pulso en el reloj de encuadre marca el comienzo de una nueva trama como se observa en la Figura 32-2.

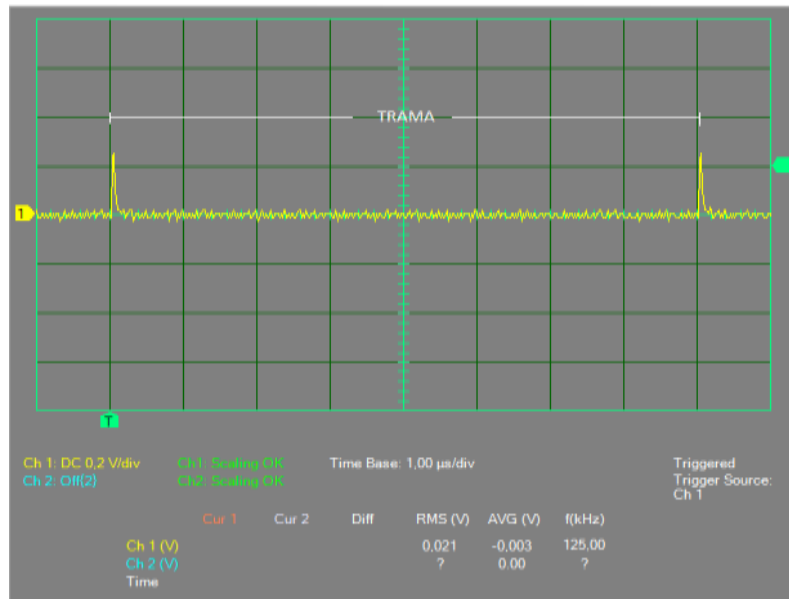


Figura 32-2. Trama completa entre pulsos de Reloj de encuadre
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

La trama comienza en el borde de caída del pulso de reloj de encuadre, y dura aproximadamente $8\mu s$, la velocidad de la trama viene dado por la Ecuación 2-2.

$$Rf = \frac{1}{Tf} = \frac{1}{8\mu s} = 125000 \text{ tramas/s} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

En donde:

Tf = Tiempo (periodo) de la trama

Rf = Velocidad de la trama

Un intervalo de tiempo en el multiplexor corresponde a cada ciclo completo del reloj de bit, dichos intervalos de tiempo comienzan en el borde ascendente del reloj de bits como se muestra en la Figura 33-2.

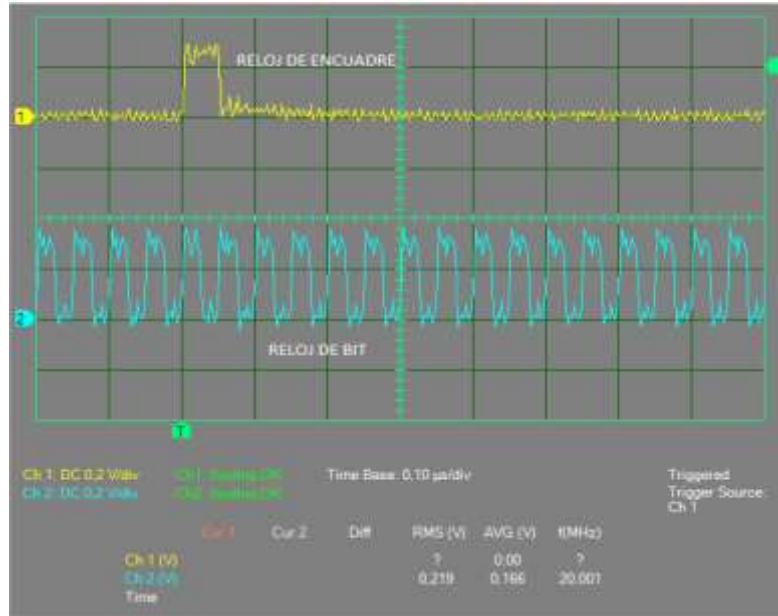


Figura 33-2. Reloj de encuadre y reloj de bit
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El pulso del reloj de encuadre está alineado aun intervalo de tiempo del multiplexor y dura aproximadamente $0.05\mu\text{s}$. El número de intervalos de tiempo en una trama completa está dado por la Ecuación 3-2.

$$\text{Intervalos de tiempo por trama} = \frac{T_f}{T_{ts}} = \frac{8\mu\text{s}}{0.05\mu\text{s}} = 160 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

En donde:

T_{ts} = Es el tiempo de un intervalo del multiplexor.

Con referencia los datos la tabla 10 del capítulo 2, transmitiendo una secuencia a una velocidad de bits de 4 Mb/s, el tiempo de bit se calcula mediante la Ecuación 4-2.

$$T_b = \frac{1}{R_b} = \frac{1}{4000000 \text{ bit/s}} = 0.25\mu\text{s} \quad \text{Ecuación. 4-2.}$$

En donde:

T_b = tiempo de bit.

R_b = Velocidad de bit.

El mutiplexador explora continuamente los cinco flujos de datos de entrada (cuatro entradas de datos más un quinto flujo "vacío"). Dado que el MUX está sincronizado con el reloj de bit, cambia de una entrada de transmisión a otra a una velocidad de 20 MHz. Cada intervalo de tiempo tiene una duración de $0,05\mu\text{s}$, por lo tanto un escaneo completo del TDM MUX contiene cinco intervalos de tiempo y dura $0,25\mu\text{s}$.

En cuanto al tiempo que dura la secuencia viene dada por la Ecuación 5-2,

$$T_{seq} = T_b * 32 = 0,25\mu s * 32 = 8\mu s \quad \text{Ecuación. 5-2}$$

Puesto que la duración del bit T_b de la secuencia binaria es igual al tiempo requerido para completar un escaneo del multiplexor, el TDM MUX debe producir un bit (0 o 1) a la salida por cada bit en la entrada de datos.

Así mismo como el período de la secuencia binaria es igual al periodo de la trama y ya que sólo hay dos unos en las secuencia binarias, sólo dos 1's deben estar presente en la salida MUX por cada trama.

2.4.5.3 *Reloj & Trama codificadora*

Se utiliza el reloj y una trama codificadora, para ir agregando transiciones a los datos multiplexados a fin de garantizar la recuperación del reloj en el receptor, agregando bits de encuadre o control a la señal para la sincronización con el demultiplexor.

Se configuro el instrumento virtual conectando el osciloscopio como se muestra en la Tabla 11-2, para verificar la sincronización que existe entre el reloj de encuadre del transmisor y el bit de encuadre del receptor, además de tener en cuenta que el aleatorizador (scrambler) y el Reloj & Frame Encoder en el equipo transmisor y receptor estén encendidos, y que exista el bloqueo de costas para que así exista la sincronización en la recuperación de las tramas en el receptor.

Tabla 11-2. Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor y receptor.

Canal 1	TP2 (Reloj de encuadre) Transmisor
Canal 2	TP8 (Bit de encuadre) Receptor

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Con dichas conexiones se visualizó la pantalla en el osciloscopio como se muestra en la Figura 34-2, en el cual se representa las señales sincronizadas.

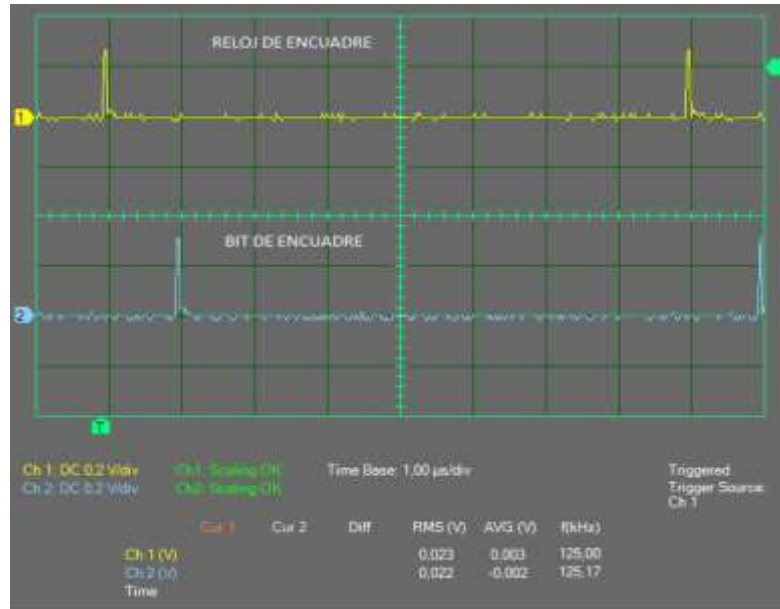


Figura 34-2. Reloj de encuadre en transmisor y bit de encuadre en receptor.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Posterior se generó una secuencia binaria en las entradas de datos configurando el BSG del equipo virtual, y estableció las conexiones para visualizar como se codifican los datos con el reloj y la trama codificadora (clock & frame encoder) como se observa en la Tabla 12-2 y Tabla 13-2.

Tabla 12-2. Configuración de secuencias binaria salidas digitales

Generador de secuencia Binaria BSG 1	
Secuencia binaria	1110 1010 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s
Generador de secuencia Binaria BSG 2	
Secuencia binaria	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s
Generador de secuencia Binaria BSG 3	
Secuencia binaria	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	4 000 000 bit/s

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 13-2. Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.

Canal 1	TP3 (Salida del Mux) Transmisor
Canal 2	TP4 (Salida de clock & frame encoder) Transmisor

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se visualizó en la pantalla del osciloscopio del instrumento virtual los datos multiplexados sin codificar y posteriormente codificados con el reloj y trama codificadora como se observa en la Figura 35-2.

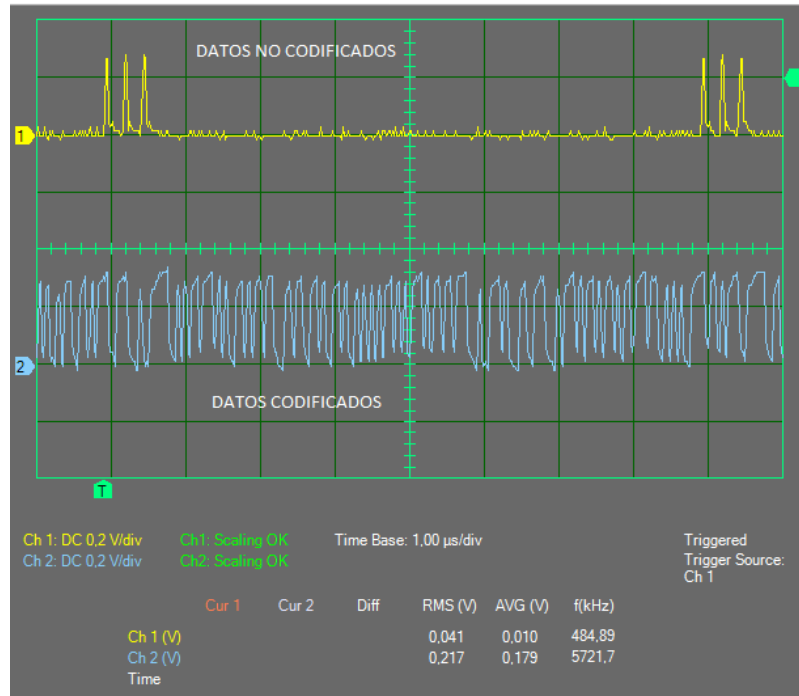


Figura 35-2. Datos multiplexados y codificados.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El proceso del reloj y codificador de trama consistió por tanto en agregar bits de encuadre, para posterior ser detectados y recuperados por el circuito de recuperación de trama en el receptor, como se observa en la Figura 36-2, en donde se visualiza en el osciloscopio la secuencia de datos codificada, decodificada y recuperados.

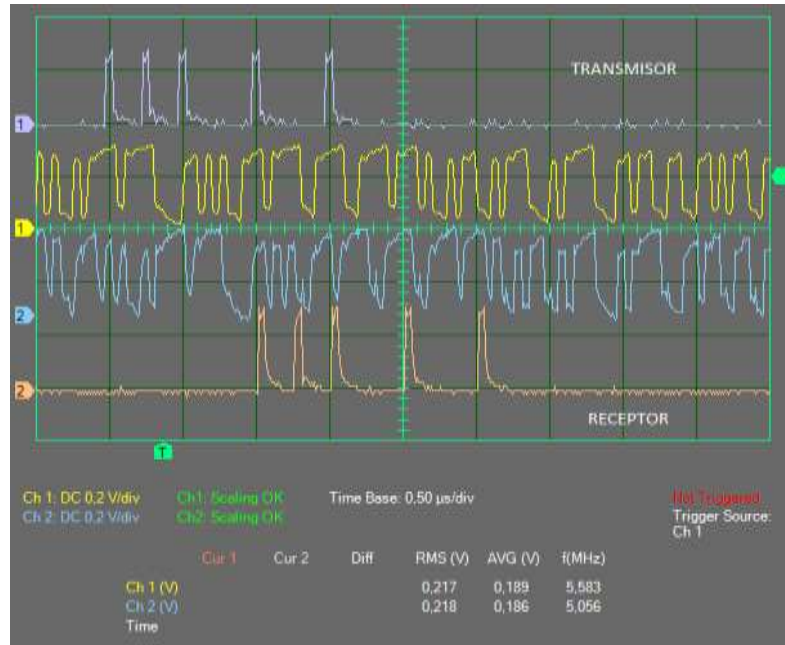


Figura 36-2. Señales del Reloj y trama codificadora y Reloj y trama decodificadora.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El reloj y codificador de trama del sistema de entrenamiento de comunicaciones satelitales usa una implementación del código de transmisión 8B / 10B, agrupando y codificando los datos en grupos de 8 bits de información con un código de transmisión, cada grupo de 8 bits de información se codifica utilizando 10 bits. La señal codificada contiene transiciones frecuentes y bits de información de encuadre necesaria para que el receptor demultiplexe correctamente los datos.

Por tanto en el Clock & Frame Encoder se codifican los bits del canal que generan 10 bits de datos codificados por cada 8 bits de información más 2 bits reservados en su entrada.

2.4.5.4 SCRAMBLER (ALEATORIZADOR)

Para observar el funcionamiento del Scrambler en el transmisor se realizó la siguiente conexión de los módulos como se muestra en la Figura 37-2.

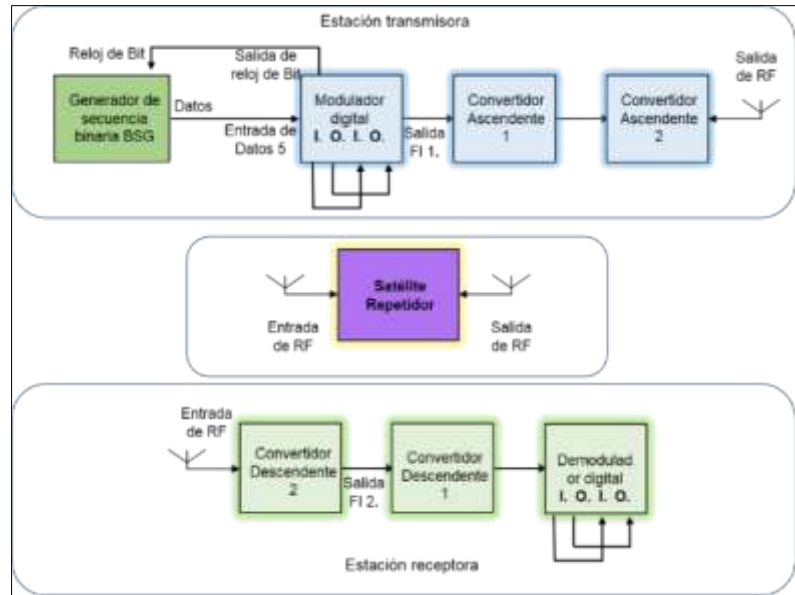


Figura 37-2. Diagrama de conexión para transmisión digital no multiplexada
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Además se configuro el generador de secuencia binaria del instrumento virtual para producir 32 bits y la conexión del osciloscopio para generar las señales en el instrumento virtual como se observa en la Tabla 14-2, y Tabla 15-2.

Tabla 14-2. Configuración de secuencia binaria salida digital.

Generador de secuencia Binaria BSG 1	
Secuencia binaria	1110 1010 0000 0000 0000 0000 0000 0000
Velocidad de bit	20 000 000 bit/s

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 15-2. Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.

Canal 1	TP3 (Salida del Mux- entrada a Scrambler) Transmisor
Canal 2	TP4 (Salida de clock & frame encoder y Scambler) Transmisor

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se visualizó en la pantalla del osciloscopio la señal de la entrada y salida del proceso de scrambler (aleatorización) con datos no multiplexados y no codificados por el reloj y trama codificadora (clock & frame encoder) como se muestra en la Figura 38-2.

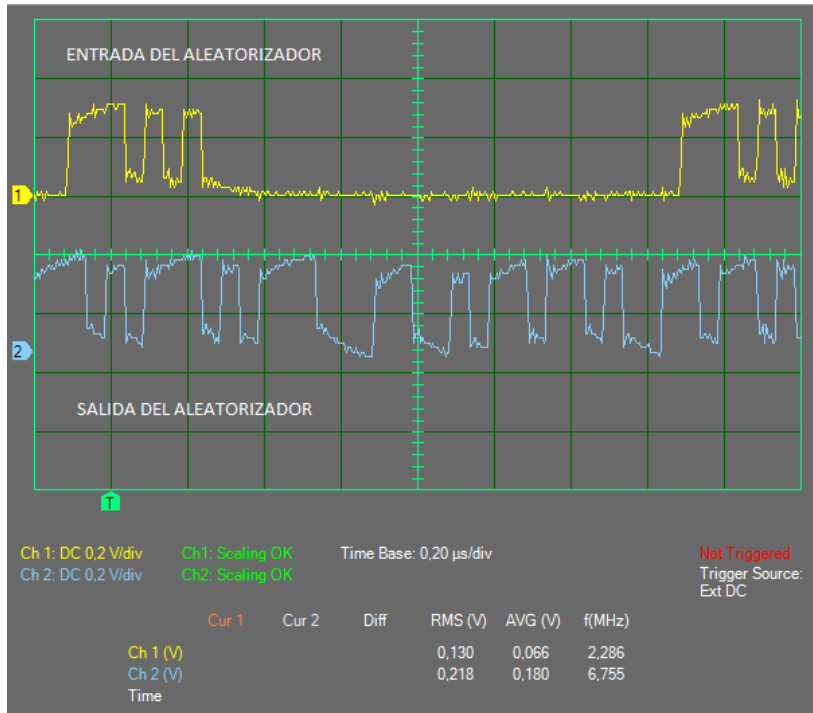


Figura 38-2. Aleatorización de un flujo de datos.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

La etapa de aleatorización en el sistema transmisor consiste en una fuente digital de bits que transforman el flujo de datos de entrada aplicando un registro de desplazamiento de retroalimentación lineal cuando el periodo de la secuencia es corto, no obstante cuando se utiliza secuencias repetitivas de periodos largos el aleatorizador actúa generando secuencias pseudoaleatorias como se muestra en la Figura 39-2. La secuencia de salida es una verdadera señal aleatorizada no comprensible para receptores no sincronizados.

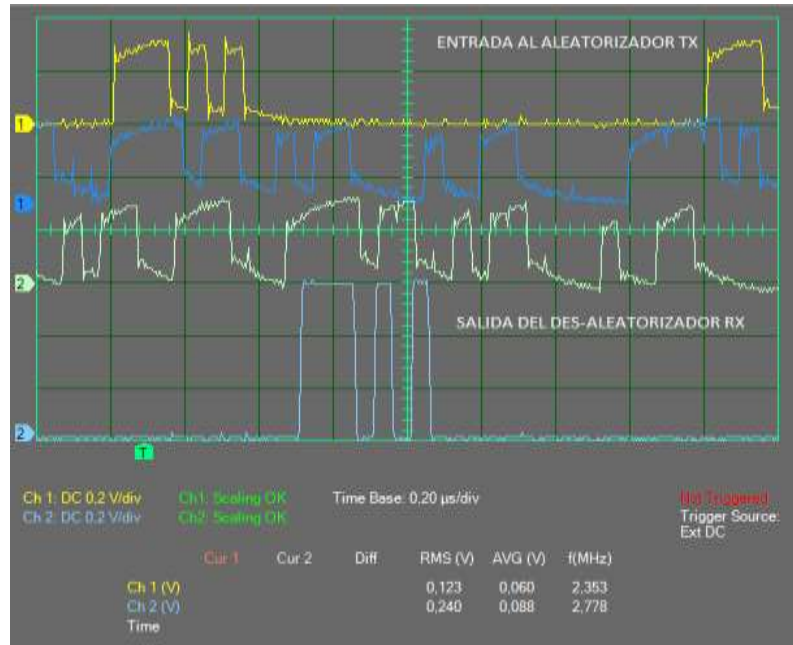


Figura 39-2. Secuencia de datos aleatorizada y recuperada
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

La etapa de aleatorización y desaleatorización utiliza una palabra de sincronización o polinomio de aleatorización conocida solo por el fabricante, el cual depende del número de registros de desplazamiento utilizados, para la cual se ingresó un pulso en la entrada del desaleatorizador y se verifico en la Figura 40-2 el polinomio de sincronización utilizada.



Figura 40-2. Impulsos de entrada en desaleatorizador y respuesta de impulso.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Dada la respuesta en frecuencia del desaleatorizador, por cada pulso ingresado a esta etapa ocurren tres impulsos en las posiciones 0,18 y 23 con referencia a cada ciclo del reloj, dicho aquello se obtiene el polinomio utilizado como palabra de sincronización como se observa en la Ecuación 6-2.

$$x^0 + x^{18} + x^{23} = x^{23} + x^{18} + x^0 \quad \text{Ecuación. 6-2}$$

En relación al efecto que produce en el dominio de la frecuencia como se observa el Figura 41-2 y Figura 42-2., la etapa de aleatorización produce dispersiones de la energía en la portadora, extendiéndola suavemente sobre todo en ancho de banda.

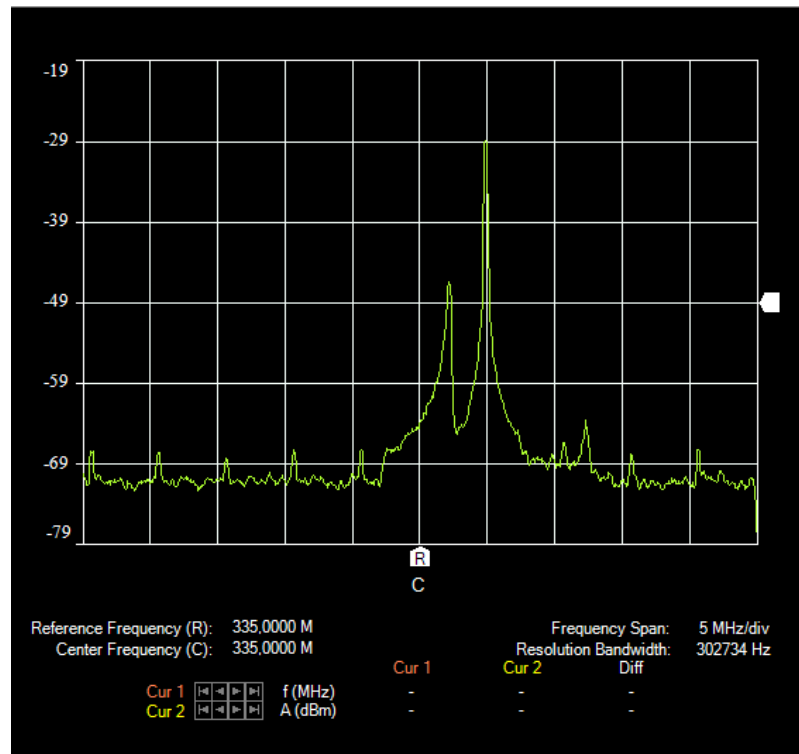


Figura 41-2. Señal en dominio de frecuencia sin aleatorización
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

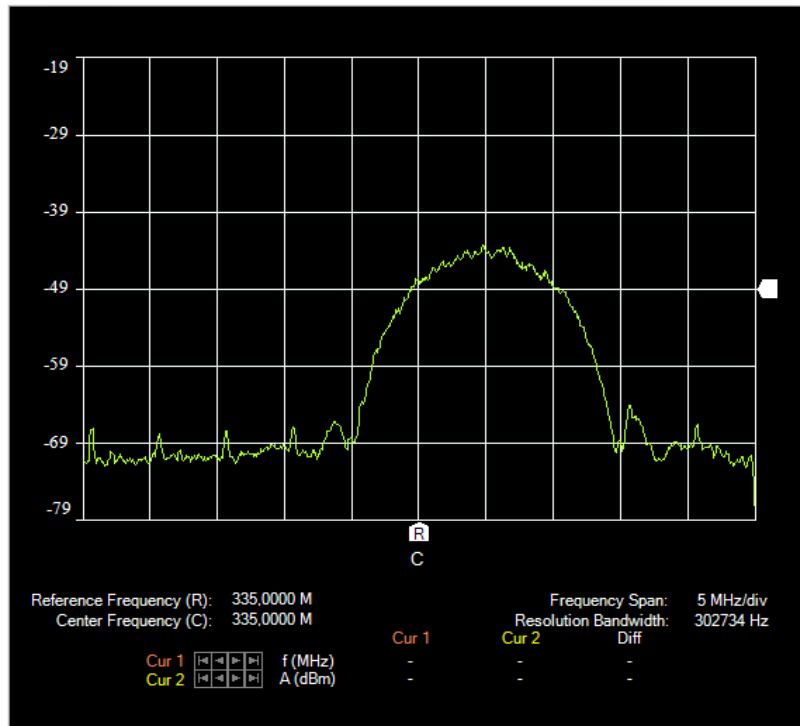


Figura 42-2. Señal en dominio de frecuencia aleatorizada.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.6 Modulación digital

Realizamos este ejercicio para observar el procedimiento paso a paso de la modulación digital y el comportamiento de cada fase exceptuando la codificación diferencial, a partir de la recepción del flujo de datos en su entrada

2.4.6.1 Convertidor serie-paralelo

Para visualizar el comportamiento realizamos la conexión como se mostró en la Figura 43-2, en la cual se utiliza una señal digital no multiplexada para realizar su transmisión, además de la configuración del equipo trasmisor e instrumento virtual como se muestran en la Tabla 16-2 y Tabla 17-2.

Tabla 16-2. Configuración equipo trasmisor.

Transmisor	
Fuente de datos	Sampler (muestreo)
Scrambler (aleatorizador)	Apagado
Clock & Frame encoder	Apagado

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 17-2. Configuración de secuencia binaria salida digital.

Generador de secuencia Binaria BSG 1	
Secuencia binaria	00 1111 0001
Velocidad de bit	20 000 000 bit/s

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El convertidor serie a paralelo funciona agrupando bits de datos de entrada en grupos de dos bits consecutivos (dibits) o también denominado símbolo, enviando cada uno de estos bits de cada dibit a cada canal I o Q como se muestra en la Figura 43-2.

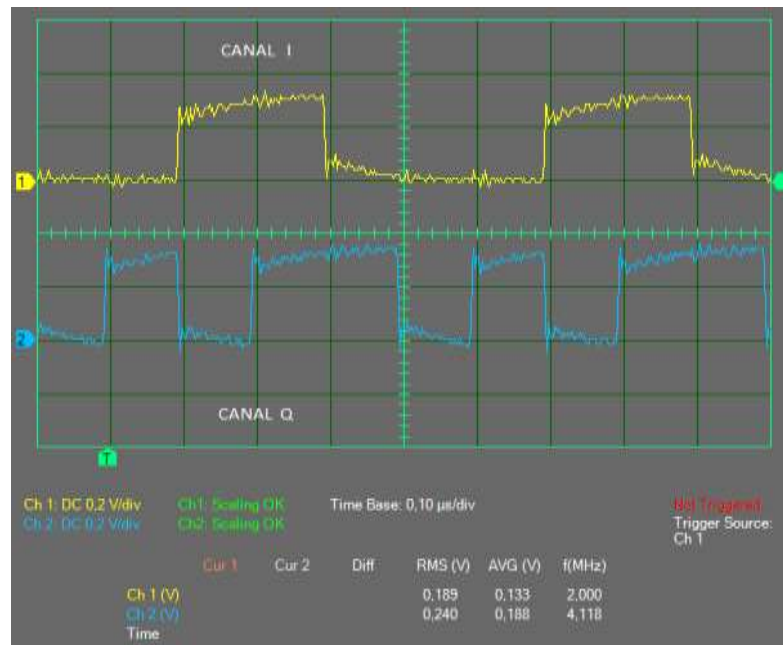


Figura 43-2. Salida del Convertidor de señal serial a paralelo condición 2.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Dado que el convertidor serial a paralelo agrupa los datos que se encuentran en su entrada como símbolos de dos bits (dibits), esta agrupación comienza en cualquier momento del ciclo del reloj de sincronizado a 20 Mbit/s y tiene dos posibles opciones de agrupación, ya sea agrupando desde el primer bit de entrada o comenzando desde el segundo bit, cualquier otra forma de agrupación será la misma que la primera o segunda opción.

Así entonces como se muestra en la Figura 44-2, la agrupación también puede consistir en la secuencia 00 11 11 00 01 donde la salida Q pertenece al bit más significativo (MSB) de la secuencia.

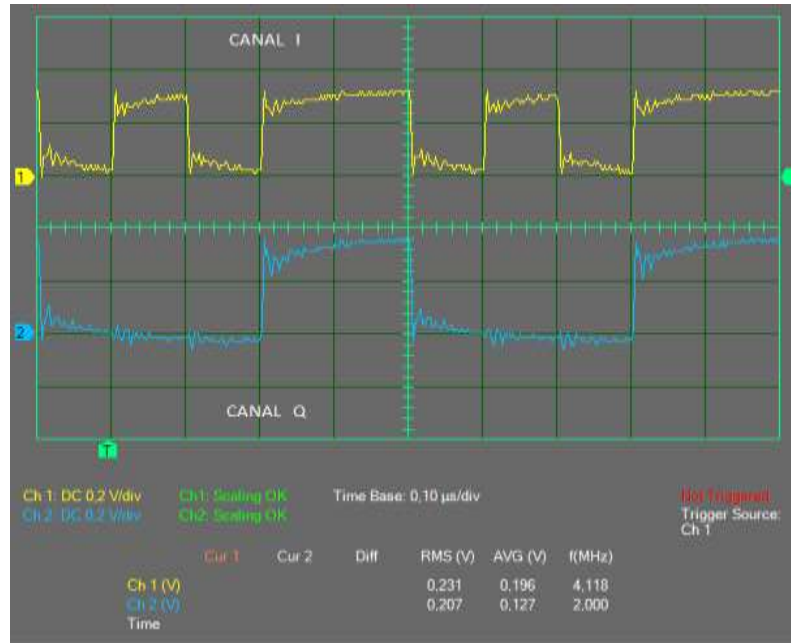


Figura 44-2. Salida del convertidor de señal serial a paralelo condición 1.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.6.2 Convertidor de nivel

Para visualizar el funcionamiento del convertidor de nivel se realizó la conexión entre el instrumento virtual y el equipo transmisor como lo indica la Tabla 18-2, y se observó que el convertidor de nivel convierte cada dato en una corriente de pulso bipolar de banda base la cual ingresara a filtrarse antes del proceso de mezclado con la portadora generando el proceso de modulación.

Tabla 18-2. Conexión osciloscopio de instrumento virtual y equipo transmisor.

Canal 1	TP8 (Entrada al convertidor de nivel en I) Transmisor
Canal 2	(Salida del convertidor de nivel del canal I) Transmisor
Canal 1	TP9 (Entrada al convertidor de nivel en Q) Transmisor
Canal 2	(Salida del convertidor de nivel del canal Q) Transmisor

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Este proceso genera la Figura 45-2 y Figura 46-2, en la cual se observan los pulsos bipolares producidos por el convertidor de nivel del canal I y Q.

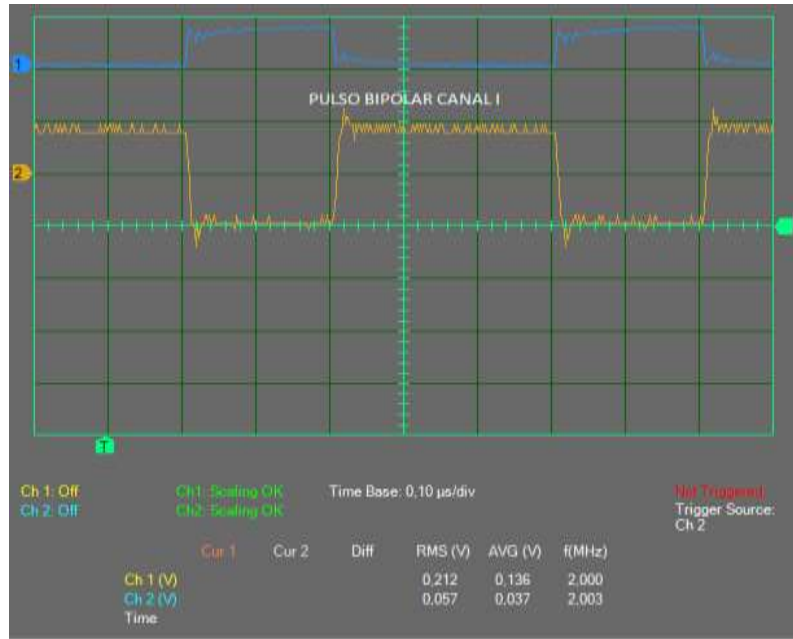


Figura 45-2. Pulso bipolar canal I
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

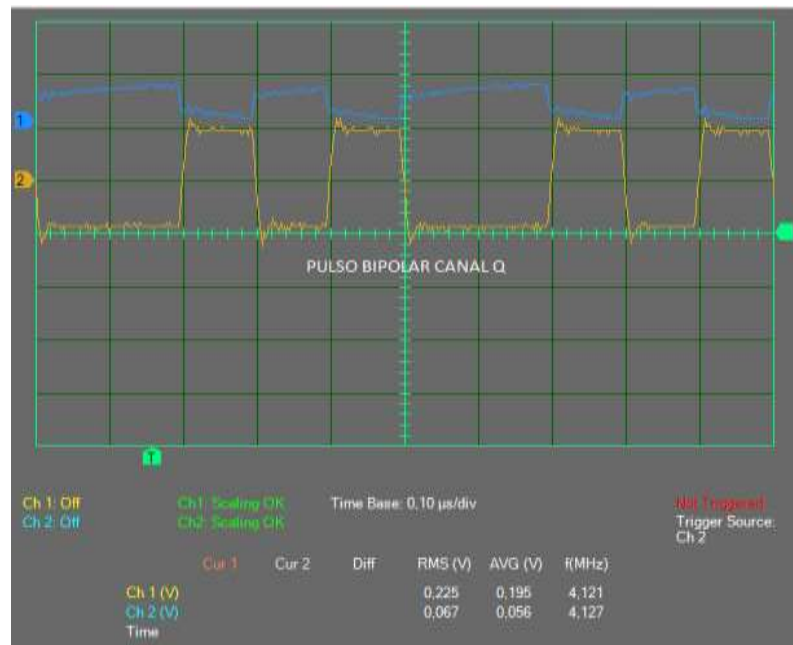


Figura 46-2. Pulso bipolar canal Q.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se produce un incremento en el nivel de amplitud de la señal además de convertirse en una forma de onda bipolar. Esto sucede para que funcione bien el modulador, ya que el voltaje de entrada digital debe ser mucho mayor que el voltaje máximo de la señal analógica de la portadora, asegurando así

que la entrada digital controle el estado de encendido y apagado de los diodos internos del circuito convertidor.

A su vez es notable que se produce una inversión en la señal producto de razones técnicas del circuito utilizado pero luego en el filtrado posterior es corregido.

Estas dos señales en las salidas se procesan en un filtro pasa bajos para restringir el ancho de banda de la señal QPSK, suavizar la transición en las señales de cada canal e invertir la señal, estos dos últimos procesos se visualizó configurando la conexión del instrumento virtual en la salida del filtro pasa bajos de las señales I y Q como se observa en la Figura 47-2 el canal I y el Figura 48-2 el canal Q.

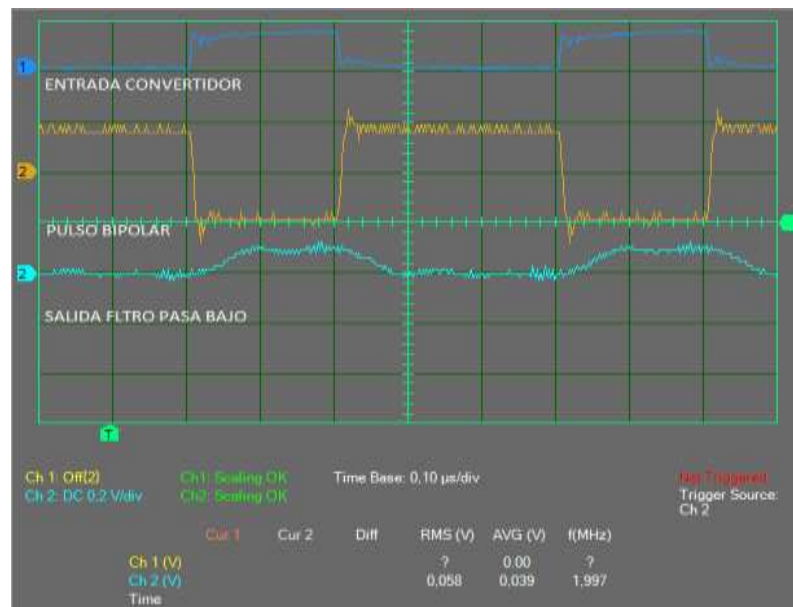


Figura 47-2. Pulso bipolar filtrado canal I
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

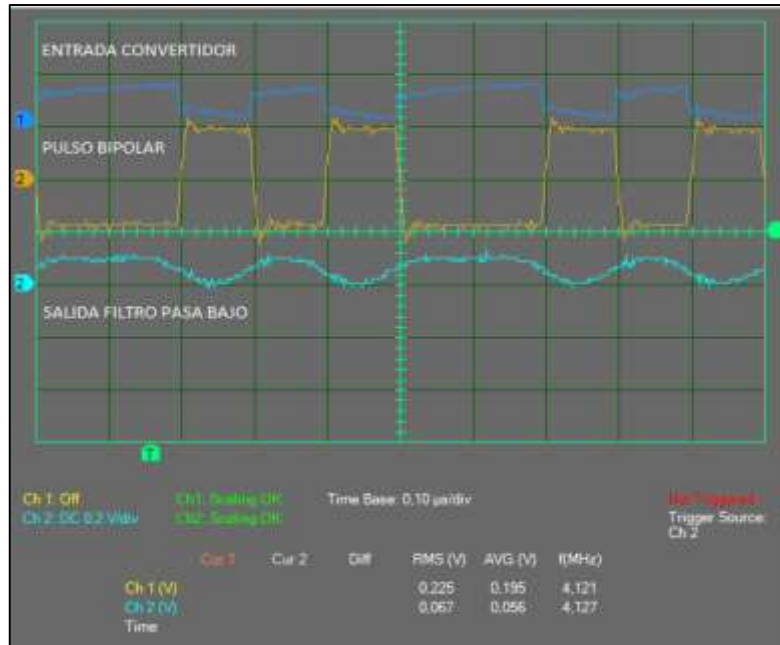


Figura 48-2. Pulso bipolar filtrado canal Q
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.7 Codificación diferencial

Se realizó este ejercicio para determinar como el codificador diferencial representa los díbits que se transmiten en la señal modulada, para la cual se realizó la conexión de transmisión de datos no multiplexados como se indica en la Figura 49-2.

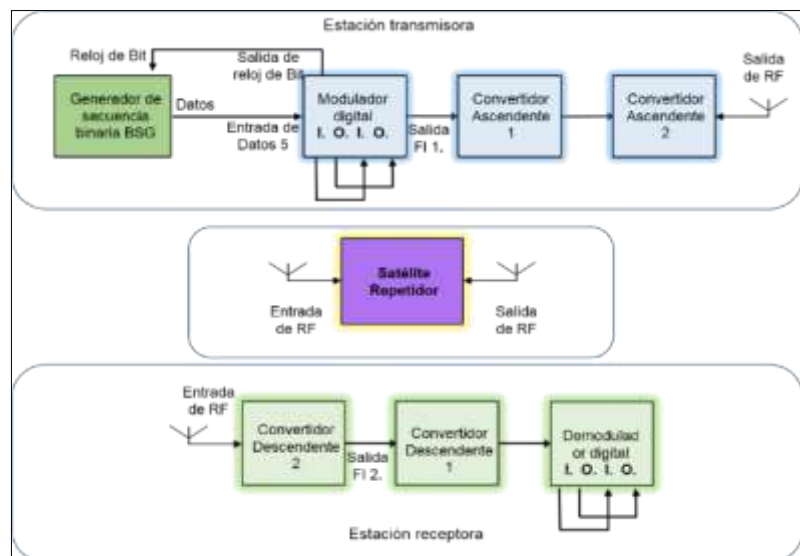
































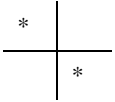
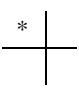
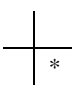
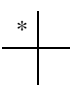
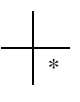
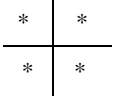
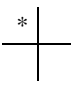

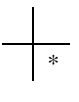

Figura 49-2. Diagrama de conexión para transmisión digital no multiplexada.
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Para la representación de los bits y transmisión el codificador realiza cambios de fase en la señal moduladora, esto se logró visualizar configurando la ventana del osciloscopio del instrumento virtual e formato X-Y y modo de visualización en puntos. Para examinar el cambio existente en fases se ingresó secuencias de datos diferentes de dos bits (11, 00, 10) a una velocidad de 20 Mbit/s.

En base a los resultados visualizados en las gráficas como se muestra en el Anexo D, se determinó los cambios de fase producidos los cuales se muestra en la Tabla 19-2, en la cual además se visualiza la representación de la constelación formada y la secuencia que producen los dibits codificados

Tabla 19-2. Determinación del cambio de fase de dibit.

Secuencia binaria de dos bits	Secuencia de cuatro dibit sin codificar	Constelación codificada diferencialmente	Secuencia dibit codificada diferencialmente				Cambio de fase entre dibits codificados (°)
11	11 11 11 11		 11	 10	 00	 01	90°
00	00 00 00 00		 11	 11	 11	 11	0°
	00 00 00 00		 10	 10	 10	 10	0°
	00 00 00 00		 00	 00	 00	 00	0°
	00 00 00 00		 01	 01	 01	 01	0°
	10 10 10 10		 11	 00	 11	 00	180°

10	10 10 10 10						180°
	01 01 01 01						270°

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.4.8 Transmisión y recepción de audio

Se realizó este ejercicio para corroborar el funcionamiento del equipo de comunicación satelital utilizando una transmisión en vivo de audio o video analógico en tiempo real para simular una transmisión de radio.

Se realizó las conexiones como se muestran en la Figura 50-2 en la cual se utilizó un reproductor de audio (teléfono o PC).

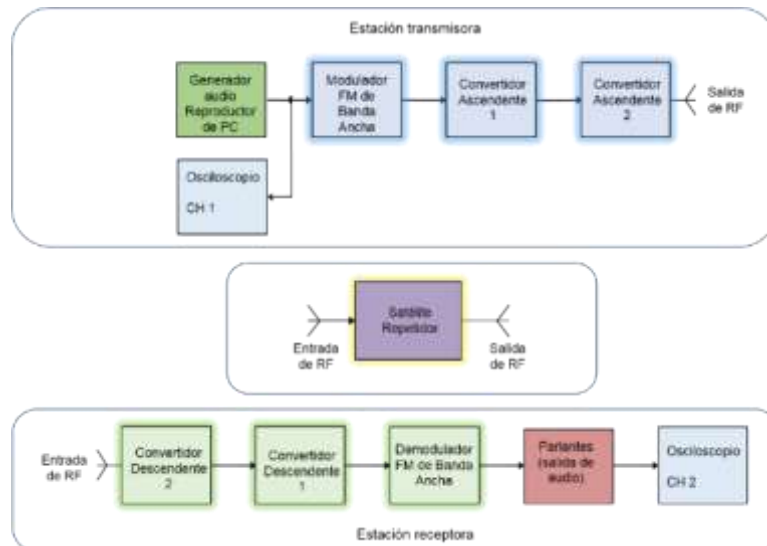


Figura 50-2. Conexión básica para transmitir audio en el equipo transmisor satelital.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5 Análisis de funcionamiento del software simulador de órbitas y cobertura satelital

En esta etapa se desarrolló las simulaciones incluidas en las practicas del manual de orbitas satelitales cobertura y alienación de antenas, para observar parámetros utilizados en la mecánica orbital aplicada

a los satélites de comunicaciones, aspectos de la cobertura satelital, cobertura ofrecida con diferentes tipos de orbitas y constelaciones de satélites.

2.5.1 Tipos de órbitas

Para esta sección se cargó el archivo Satellite_set1.xml guardado por defecto en la lista de archivos con la que cuenta el simulador de orbitas, la cual mostró la simulación de 5 satélites ubicados alrededor de la tierra a orbitas diferentes en tamaño y orientación, como se muestra en la Figura 51-2.

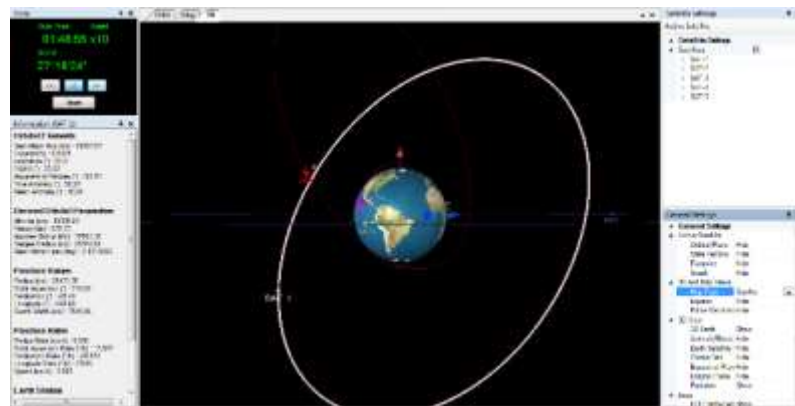


Figura 51-2. Simulación de 5 satélites artificiales
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se examinó los elemento orbitales que cada satélite como se muestra en la Tabla 20-2, con la cual se puede determinar el tipo de orbita a la que está sujeta cada satélite.

Tabla 20-2. Tipos de órbita y elementos orbitales

Elemento Orbital	Sat-1	Sat-2	Sat-3	Sat-4	Sat-5
Excentricidad	0,0021	0,0004	0,0002	0,7065	0,0017
Eje semi-mayor (Km)	25507,97	42164,14	7155,81	26556,67	7055,11
Angulo de inclinación	64,90	0,00	86,40	63,77	8,99
Periodo	11:15:44	23:56:04	01:40:24	11:57:50	01:38:17
Tipo de Orbita	MEO	GEO	LEO polar	HEO Molniya	LEO Ecuatorial

Realizada por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.2 Forma y tamaño de la órbita

La forma y el tamaño de la órbita que describe un satélite dependen de sus elementos orbitales, uno de estos elementos es la Excentricidad la cual es un parámetro que determina el ángulo o grado de desviación con respecto a una circunferencia, es de este modo que la forma de un orbita puede tomar

la forma circular o elíptica como se observa en la Figura 52-2 y Figura 53-2, variando el parámetro antes mencionado comprendido entre 0 y 1.

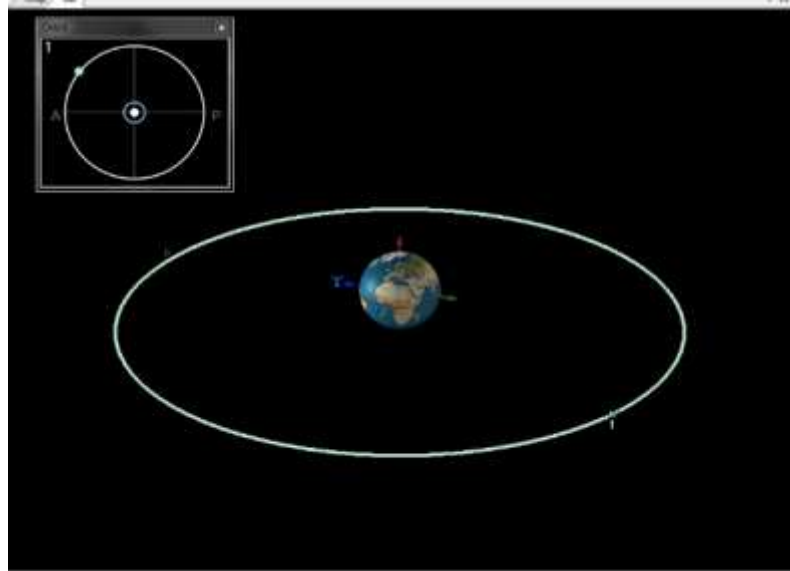


Figura 52-2. Posición de órbita de un satélite con respecto a su excentricidad = 0.0
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

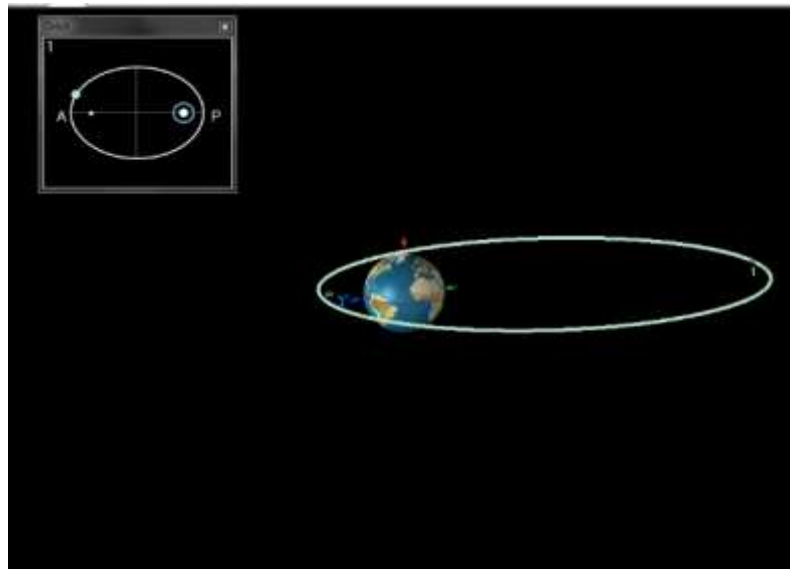


Figura 53-2. Posición de órbita de un satélite con respecto a su excentricidad = 0,7
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Con estas observaciones se observó que un satélite en una órbita no circular se mueve más rápido cuando está más cerca de la tierra y más lento cuando está más lejos, es decir su velocidad depende de la órbita que describe su movimiento.

El radio desde el centro de la tierra o foco principal al punto más alejado del satélite en la órbita o Apogeo se denomina semi eje mayor y es un parámetro que ayuda a determinar el tamaño de la órbita,

de manera posterior se hizo variar el elemento orbital mencionado y se visualizó en la Figura 54-2 y Figura 55-2, el cambio en el tamaño de la órbita, notando igualmente que este cambio conlleva a modificaciones en el periodo, altura del satélite, el valor de orbita en apogeo y perigeo y las revoluciones por día de cada satélite (movimiento medio).

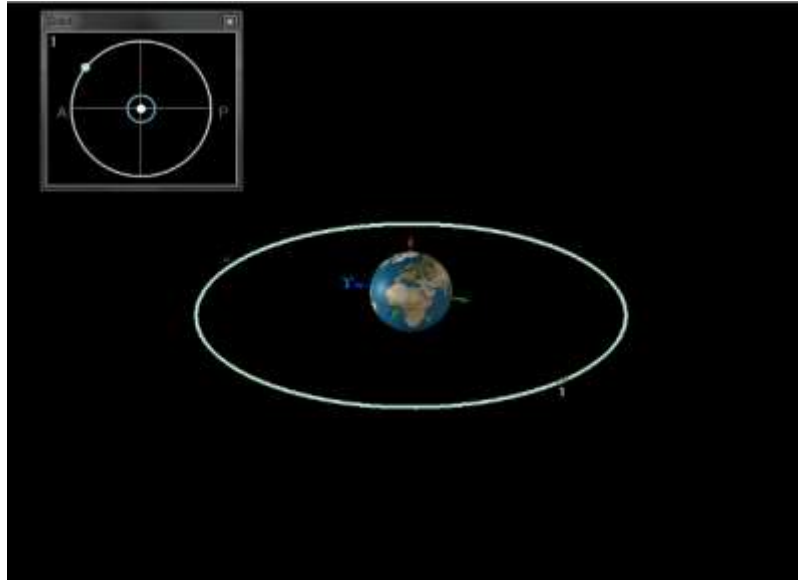


Figura 54-2. Satélite con órbita geostacionaria.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

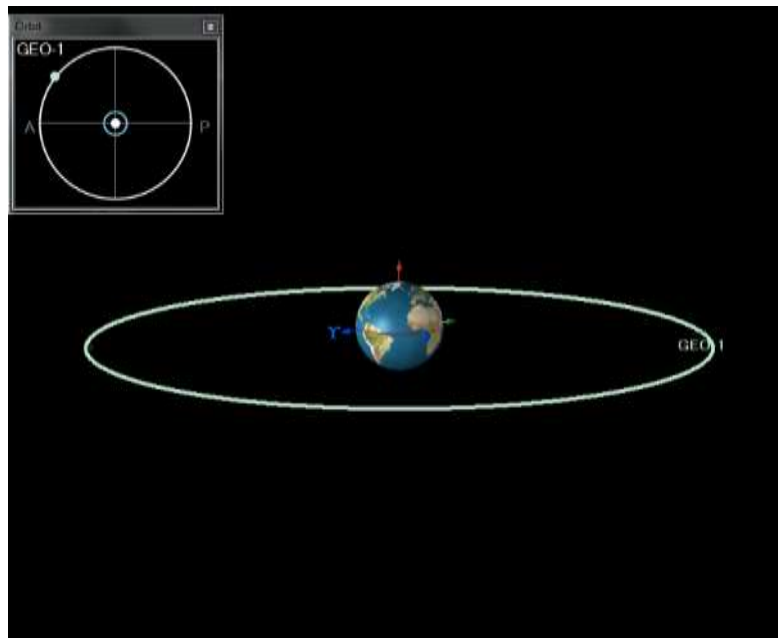


Figura 55-2. Satélite con órbita geostacionaria.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.3 Orientación y posición de órbita.

Para determinar posición en órbita y la orientación alrededor de la tierra, los satélites determinan dos elementos orbitales, se hizo variar la inclinación con respecto al plano ecuatorial como se muestra en la Figura 56-2, visualizando así la máxima latitud de observación que tienen los satélites a dichas inclinaciones orbitales.

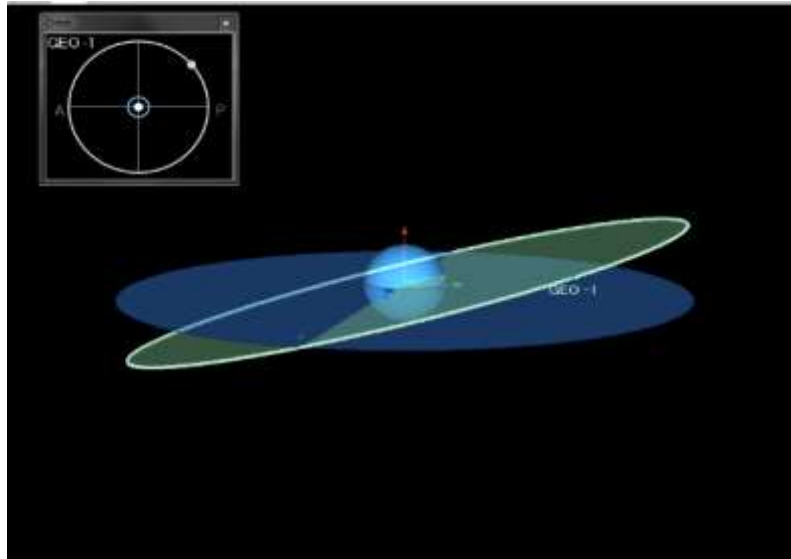


Figura 56-2. Órbita satelital con inclinación orbital = 15° .
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

A su vez, existe el parámetro de ascensión recta del nodo ascendente para determinar la posición del satélite en un tiempo determinado, se modificó este parámetro y se logró observar en la Figura 57-2 cómo cambia el punto de referencia a lo largo de la órbita.

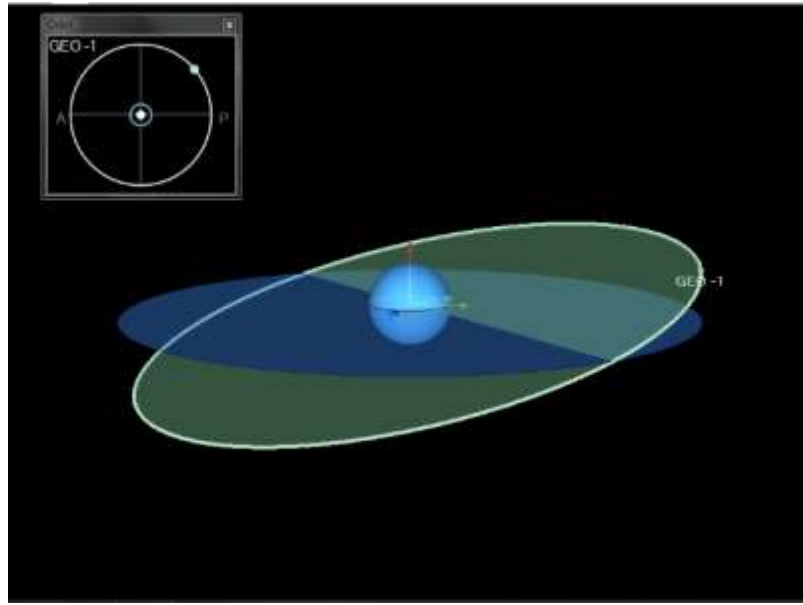


Figura 57-2. Órbita satelital con RAAN = 45°.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.4 Cobertura del satélite GEO.

En esta tarea se trabajó con el archivo del satélite GEO.xml, en el cual se realizaron configuraciones para mostrar el contorno de visibilidad que tiene un satélite GEO hacia la tierra.

La Figura 58-2, muestra las configuraciones realizadas y la información visualizada por el simulador.

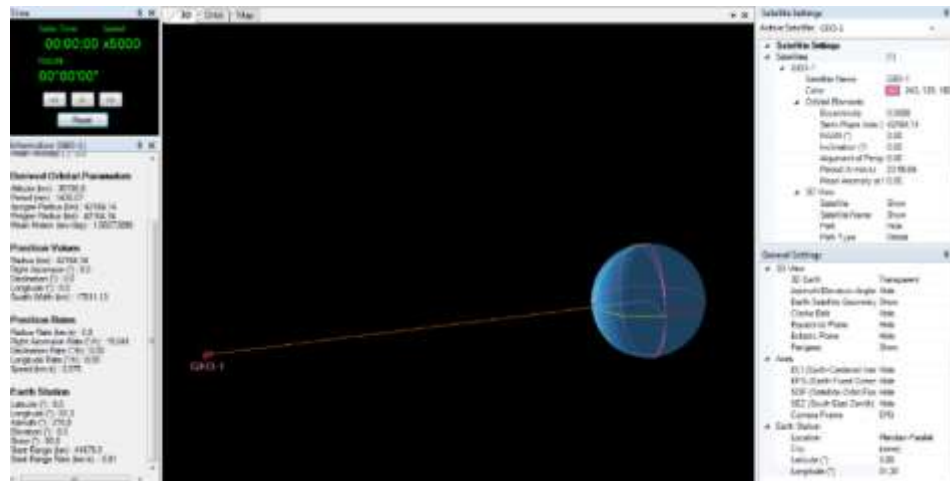


Figura 58-2. Cálculo de ángulo central y porcentaje de visibilidad de superficie terrestre.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

A su vez dados los datos proporcionados por el simulador, se calculó y comparo el ángulo central, el porcentaje de cobertura de superficie terrestre aproximado y la latitud máxima de cobertura con un

ángulo de elevación de 10° , con la ayuda de ecuaciones provistas en los módulos adjuntos como se observa en la Tabla 21-2.

Tabla 21-2. Comparación de información de parámetros esperados y calculados

PARÁMETROS	VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS
ANGULO CENTRAL β	81.5°	81.3°
PORCENTAJE DE SUPERFICIE TERRESTRE	42 %	42.4%
MÁXIMA LATITUD CUBIERTA $\Phi_{MÁX}$	71.5°	71.4°

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.5 Cobertura del satélite Cuasi Zenith

Para analizar esta sección se cargó el archivo Quasi-zenith.xml en donde se analizó el tema handoff y contornos de elevación específicamente para la ciudad de Tokio en Japón ya que estos grupos de satélites son frecuentemente utilizados para cubrir el país asiático como se muestra en la Figura 59-2.

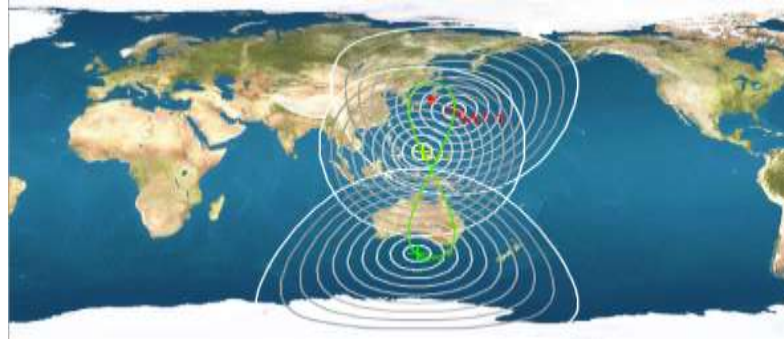


Figura 59-2. Cobertura y trayectoria de una constelación de satélites Cuasi Zenith.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.6 Cobertura del satélite LEO

En este apartado, se modificó un satélite LEO en diferentes orbitas para registrar su periodo, el tiempo de visibilidad y el intervalo de visión desde una estación ubicada en la interacción entre un meridiano y un paralelo, comparando así dichos datos como se muestra en la Tabla 22-2.

Tabla 22-2. Periodos y tiempo de viabilidad e intervalo de vista para un satélite LEO

Órbitas	Satélite LEO (100 km de altitud)		
	Circular ecuatorial prógrada	Polar Circular	Circular Ecuatorial retrógrada
Periodo	105.1 min	105.1 min	105.1 min
Tiempo de visibilidad	13.7 min	12.7 min	11.7 min
Intervalo de vista	99.7 min	11.2 h	86.1 min

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.5.7 Cobertura del satélite MEO

Para observar la cobertura de un satélite MEO, se configuro la excentricidad de un satélite a 0, además de modificar el eje semi mayor a 1000km y un ángulo de elevación de 10° de un satélite registrándose el periodo y tiempo de avistamiento como se muestra en la Tabla 23-2.

Tabla 23-2. Periodo y tiempos de avistamiento en intervalo de vista de un satélite MEO.

PERIODO	5.8 h
TIEMPO DE VISIBILIDAD	2.4 h
INTERVALO DE VISTA	5.2 h

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6 Análisis de funcionamiento sistema didáctico de telefonía

2.6.1 Montaje e Instalación del sistema

Con respecto al equipo didáctico telefónico, se procedió a la instalación del sistema conectando el modulo didáctico reconfigurable al equipo host mediante un enlace Ethernet realizando los siguientes pasos:

- Conecte el MDR a la fuente de alimentación del sistema didáctico reconfigurable.
- Conecte mediante un cable conector RJ-45 el puerto Ethernet del MDR al host.
- Encienda el ordenador y establecer la dirección IP “192.168.0.201“, y mascara de subred “255.255.255.0”.
- Instale el software LVTTS en el disco duro del ordenador. En el sistema operativo Windows XP, 7, 8, o 10, abrimos el CD RW y comenzamos el proceso de instalación con el archivo ejecutable.”setup”.
- Siga las instrucciones provistas por el sistema para completar la instalación del software.
- Encendemos la fuente de alimentación de MDR y el modulo.

- g) Establecer la dirección IP y máscara de subred al MDR ejecutando el programa “utilidad de administración LVTTS” mediante el comando ejecutar en el menú de inicio del ordenador y tecleando “D: LVTTSADMIN”, haciendo clic en Ajustar Dirección IP e ingresando “192.168.0.200” como dirección de red y “255.255.255.0” como máscara de subred, aceptar y cerrar.
- h) Reiniciar el MDR, y haciendo clic en el botón Seleccionar MDR por defecto el botón buscar seleccione el módulo didáctico reconfigurable disponible que aparecerá junto con la dirección IP antes establecida aceptar y cierre para finalizar la aplicación.
- i) Retire el CD-ROM de instalación.



Figura 60-2. Montaje e instalación del sistema didáctico de telefonía.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2 Acceso analógico a la red telefónica

Para esta sección se analizó el acceso analógico a la red conmutada basándose en el estudio de las funciones y operaciones que realiza un teléfono analógico como introducción a la red telefónica pública conmutada y las diversas funciones que realiza la interfaz de línea analógica (funciones BORSCHT), para conectar el teléfono analógico a la central telefónica.

2.6.2.1 Ejercicio 1 – El timbre telefónico

Se procedió a instalar la interfaz de línea analógica doble en una de las ranuras analógico digital del MDR conjuntamente con dos teléfonos analógicos fijados en marcación por tonos, a su vez se inició el software del sistema didáctico en el ordenador, configurando la el módulo de forma que opere como central telefónica, como se observa en la Figura 61-2.

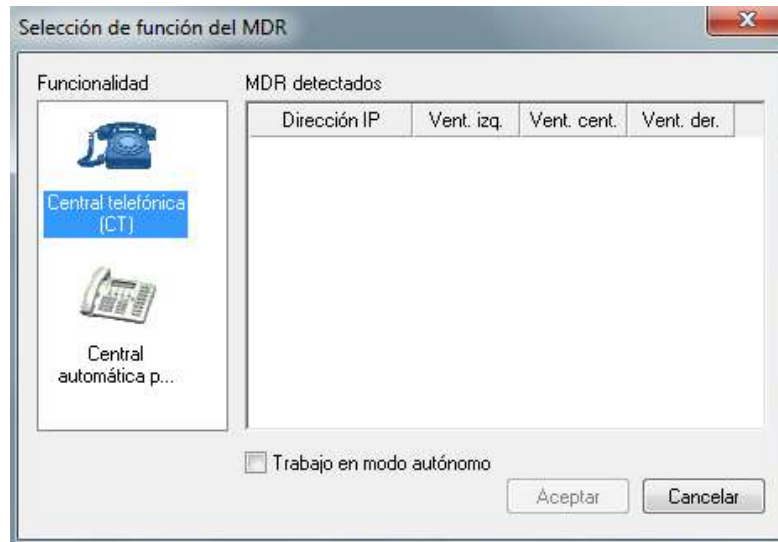


Figura 61-2. Selección de la función del MDR
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Posterior se ejecutó el osciloscopio virtual y se visualizó y registró a través de la conexión de sondas en la interfaz de línea analógica A, los valores de la forma de onda del voltaje CA y frecuencia del timbre que la central telefónica aplica para hacer timbrar el teléfono de un abonado, como se observa en la Figura 62-2.

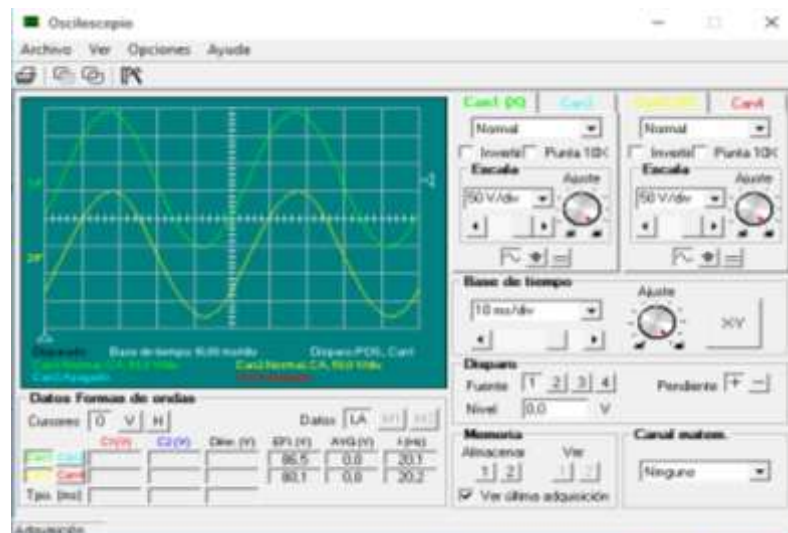


Figura 62-2. Voltajes CA del timbre en teléfono A
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Donde el canal 1 representa el voltaje CA de timbre asociado a la central telefónica y el canal 2 representa el sonido telefónico momentáneo aplicado por intervalos de tiempo con cadencia característica al momento de entrada de una llamada, el cual es inducido por la central al abonado A en una llamada desde un abonado B.

2.6.2.2 Ejercicio 2 - Gancho conmutador y auricular del teléfono

En este apartado se visualizó a partir de la conexión de una sonda en el monitor de línea acoplado CC en la interfaz de línea analógica A, el voltaje cc y proveniente del circuito de alimentación del teléfono ubicado en la central telefónica, el cual muestra el valor de -45.9 V con el contacto del gancho conmutador abierto, la cual provoca a su vez que no haya corriente fluyendo por la línea como se observa en la Figura 63-2.

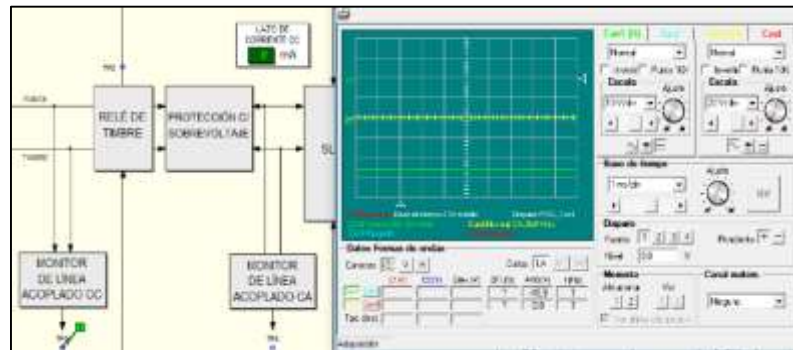


Figura 63-2. Voltaje y corriente CC en línea de abonado.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Posterior se observó la función del gancho conmutador, haciendo que fluya la corriente en la línea telefónica al momento de levantar el auricular, cerrando los contactos del gancho conmutador conectando los circuitos de marcación y conversación del teléfono a la línea telefónica como se observa en la Figura 64-2.

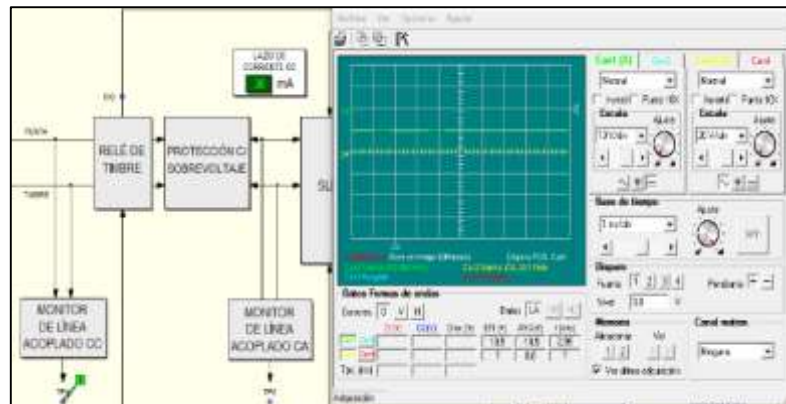


Figura 64-2. Corriente CC en línea de abonado.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

A su vez, se realizó una llamada estableciendo la comunicación entre los dos abonados y se observó el equivalente eléctrico de la voz al hablar por los auriculares, generado por el circuito de conversación en la conversión de señal en los teléfonos, mediante la conexión de sonda al monitor de línea acoplado CA, como se observa en la Figura.65-2.

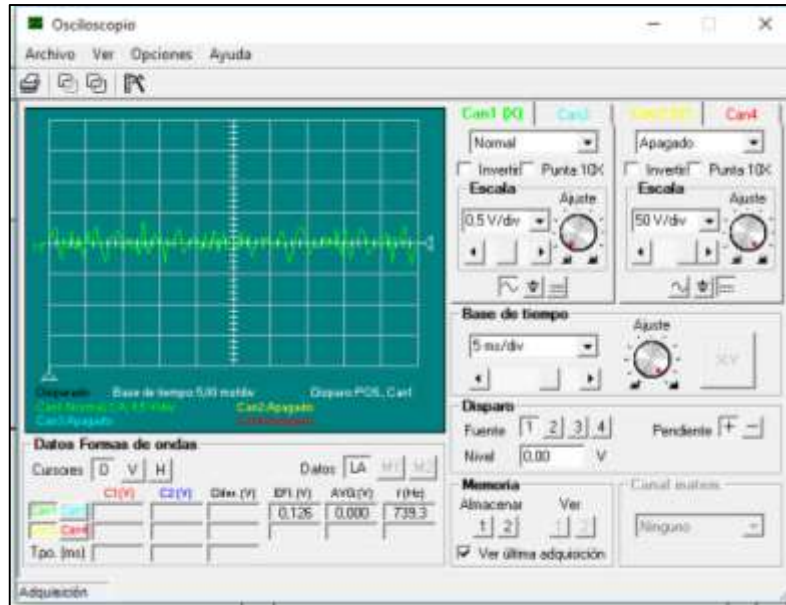


Figura 65-2. Conversión de señal de voz a corriente eléctrica.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2.3 Ejercicio 3 – Marcación por tonos

En este ejercicio se observó el proceso de señalización que realiza el teléfono del abonado hacia la central telefónica, a través de señales de marcación de multifrecuencia bitono (DTMF).

Se visualizó en la pantalla del analizador de espectros virtual los componentes de frecuencia de las señales DTMF en la señal CA de línea, que transmite cada tecla del teléfono como se observa en la Figura 66-2 y Figura 67-2.

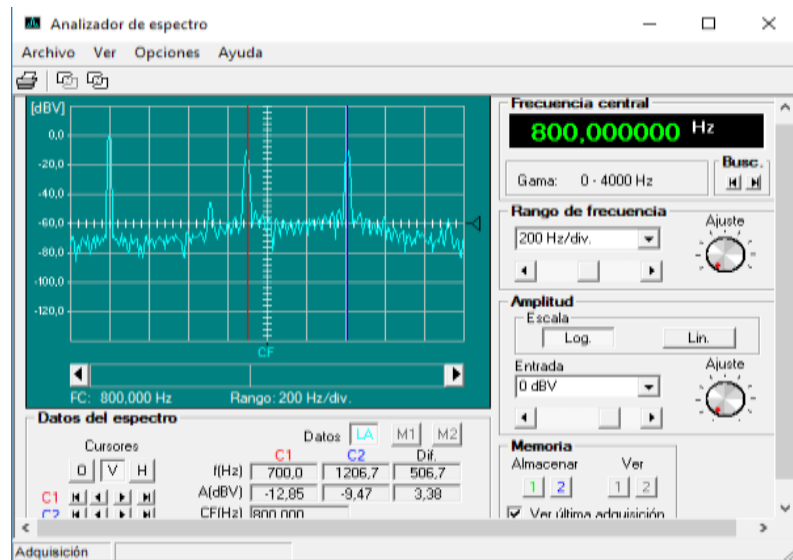


Figura 66-2. Componentes en frecuencia de tecla “1”
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

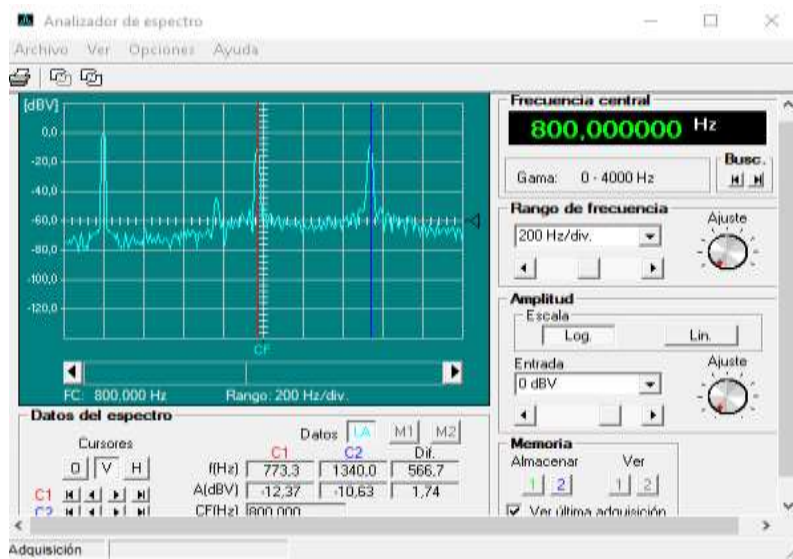


Figura 67-2. Componentes en frecuencia de tecla “5”
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

De manera que se determinó la frecuencia asociada a cada columna y fila del teclado telefónico configurado en marcación por tonos como se observa en la Figura 68-2.

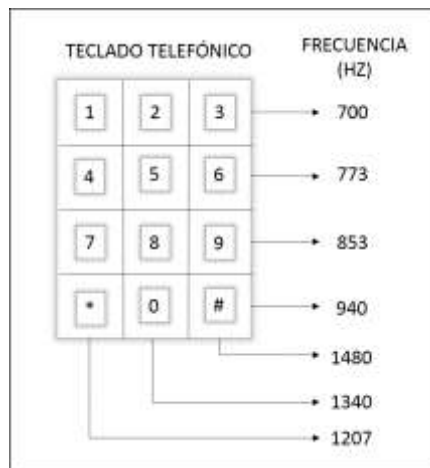


Figura 68-2. Frecuencias del teclado telefónico
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2.4 Ejercicio 4 – Alimentación del teléfono analógico

Acorde con la alimentación suministrada por la central telefónica a la línea de abonado como se observó en la Figura 65-2 del ejercicio 2, En esta sección calculamos la resistencia total que existe en la línea telefónica y los resistores limitadores de corriente de la interfaz de línea analógica A, evaluando el nivel de voltaje y corriente CC en la Ecuación 7-2.

$$R_p = (V_{ld} - V_{lc})/I \quad \text{Ecuación. 7-2}$$

$$R_p = \frac{(-10.38 + 46)V}{36mA} = 962 \Omega$$

Donde,

R_p = Resistencia total de la línea

V_{lc} = Voltaje de la línea con el auricular colgado

V_{ld} = Voltaje de la línea con el auricular descolgado

I = Corriente de la línea suministrada por la central

Como la central telefónica provee la alimentación necesaria a los teléfonos analógicos de los abonados, aplicando un voltaje CC al circuito de interfaz con el bucle de abonado (SLIC) en cada interfaz de línea telefónica y este a su vez dirige el voltaje cc a los terminales de punta y anillo a través de resistencias limitadoras de la línea telefónica.

Cuando se incrementa la resistencia en la línea telefónica el voltaje cc y corriente cc entre los terminales punta y anillo disminuye como se observa en la figura 69-2.

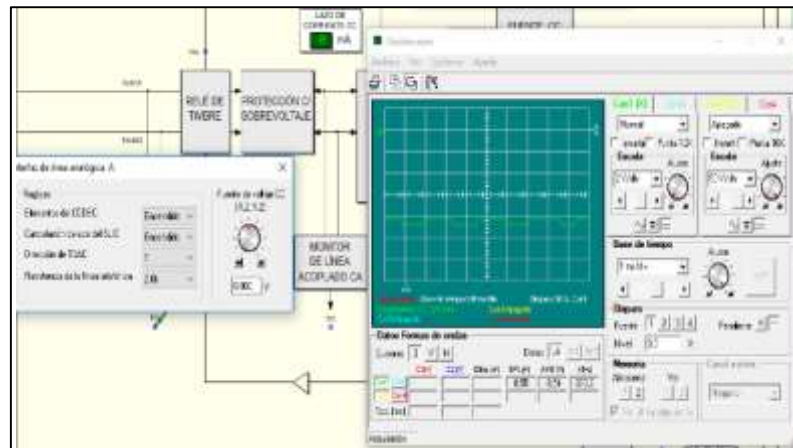


Figura 69-2. Voltaje cc y corriente cc en terminales punta y anillo.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2.5 Ejercicio 5 – Función híbrida

Para este apartado se verifico el funcionamiento de la conversión de 2 a 4 hilos (conversión híbrida) realizado por el circuito de interface de línea de subscriptor (SLIC). Para aquello se adiciono el ajuste de dos parlantes provistos por el sistema didáctico, a las salidas auxiliares de baja impedancia, de

forma que generen un sonido en cada uno de los auriculares de cada teléfono simulando la voz a transmitir en el proceso de conversación.

Se visualizó en el osciloscopio las señales equilibradas en la línea telefónica, y las señales a la salida y entrada del SLIC, como se observa en la Figura 70-2.

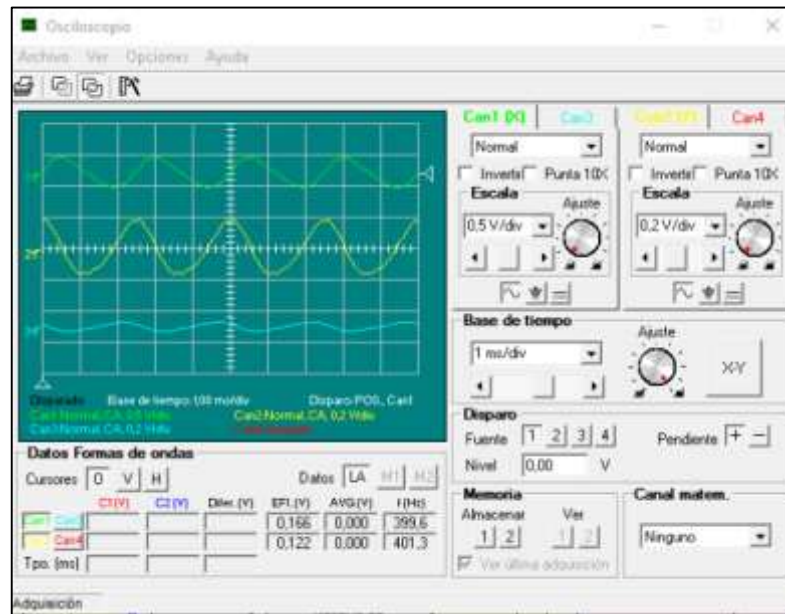


Figura 70-2. Señal en línea telefónica aplicada por el abonado A
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En donde en el canal 1 y 2 se observa la señal de 400 Hz a ser transmitida por el abonado A y la señal direccionada por el SLIC presente en la línea telefónica del abonado A respectivamente, con el fin de transmitirla al abonado B a través del circuito de conmutación de la central telefónica.

Posterior se observó la conversión de 2 a 4 hilos visualizando como la señal sinusoidal a transmitir de 400 Hz del canal 1 y la señal recibida del abonado B de 800 Hz canal 3, se combinan en una sola en la línea telefónica, y solo la señal proveniente del abonado A es dirigida a la salida del SLIC en el canal 2 como se observa en la Figura 71-2.

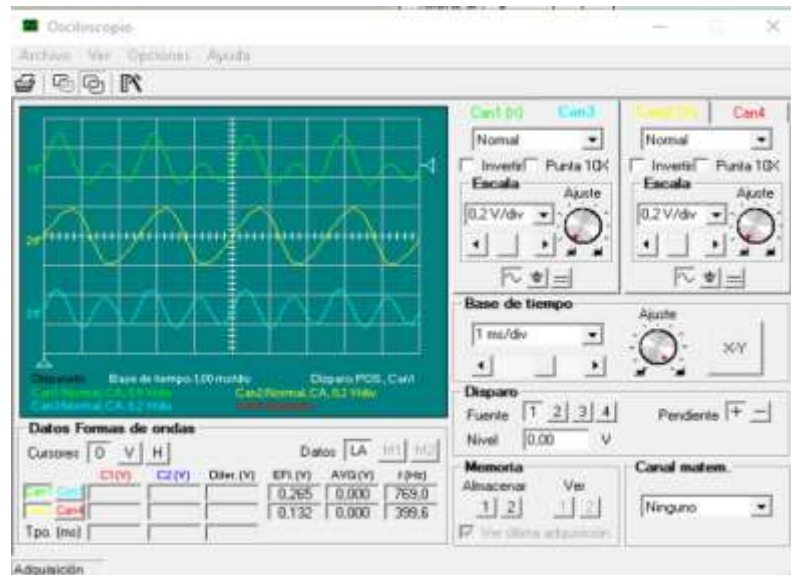


Figura 71-2. Conversión de 2 a 4 hilos del SLIC.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2.6 Ejercicio 7 – Modulación por impulsos codificados

La modulación por impulsos codificados se trata de la conversión analógica digital (A/D) y digital analógica (D/A) producida por el CODEC como una de las funciones BORSCHT llevado a cabo en la interfaz de línea analógica.

En esta sección se observó las señales a la entrada y salida del CÓDEC y la señal de sincronización de la trama como se visualiza en la Figura 72-2.

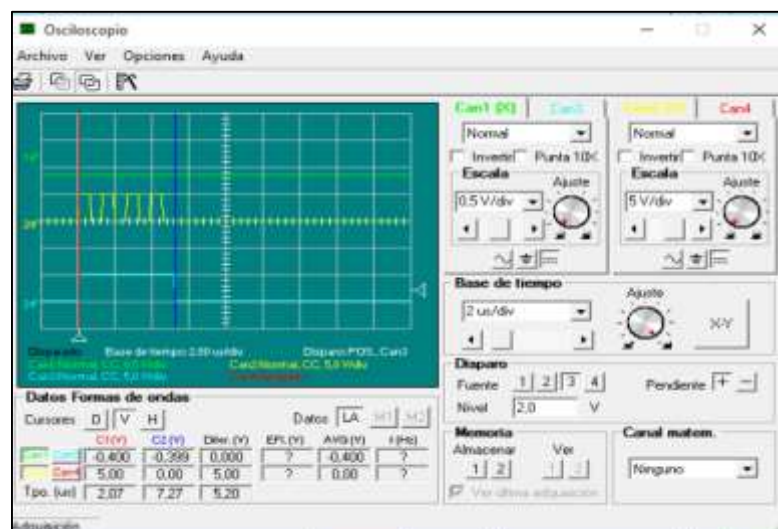


Figura 72-2. Código MIC Digitalizado.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Como resultado la señal a la salida del CÓDEC consiste códigos MIC de 8 bits enviados en un intervalo de 125 μ s con una frecuencia de 8kHz. Esta señal es un equivalente numérico del voltaje CC aplicado en la entrada analógica, donde el bit más significativo representa la polarización del mensaje muestreado cuyo valor es cero cuando el nivel de voltaje es positivo y los 7 bits menos significativos representan la magnitud del voltaje en la entrada analógica del CÓDEC.

El valor de cada bit del código MIC cambia continuamente si se empieza a realizar una conversación, debido a que la voz por el teléfono A es una entrada analógica al CÓDEC cuyo voltaje cambia a lo largo del tiempo como se observa en la Figura 73-2.



Figura 73-2. Recuperación de la señal de voz
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En donde el canal 1 representa la entrada analógica del CÓDEC, el canal 2 representa la salida MIC digitalizada, el canal 3 la sincronización de la trama de la interfaz de línea analógica A y el canal 4 simboliza la interfaz de línea analógica recuperada en la interfaz de línea B.

2.6.2.7 Ejercicio 8 – Compresión – Expansión

En los sistemas telefónicos para obtener una transmisión de voz de alta calidad, se utiliza la técnica denominada compresión – expansión, la cual se encarga de mejorar la relación señal ruido que existe en el sistema.

Para esta sección se analizó que en los niveles altos, medios y bajos de la señal, el intervalo de cuantización aumenta con la magnitud de la señal en la entrada analógica del CÓDEC, esto a su vez produce una transmisión de alta calidad y se denomina cuantización no lineal. En cuanto a no utilizar

la comprensión –expansión, sin importar la magnitud de la señal de voz, el rango de voltaje que se asocia a un intervalo de cuantización es fijo lo que a su vez conlleva a tener una transmisión de baja calidad, donde la relación señal a ruido es baja.

Esto se verifico desactivando y activando la comprensión- expansión en el sistema simulado, realizando una llamada y verificando la calidad de recepción de la señal de audio en la conversación.

2.6.2.8 Ejercicio 9 - Multiplexación por división de tiempo

En una central telefónica, para comprimir significativamente el número de interconexiones entre los circuitos de conmutación y las interfaces de líneas analógicas las señales de voz digitalizadas por el MIC deben pasar por el proceso de Multiplexación en tiempo.

Este proceso se analizó en el software del sistema didáctico, a fin de observar las ventanas de tiempo o intervalos de las tramas utilizadas tanto en transmisión de la señal como en recepción. En la Figura 74-2, se observa el canal 1 está asociado a la sincronización de la trama ocurriendo en un intervalo de tiempo de 125us lo que corresponde a la duración de una trama. El canal 2 y 3 se asocian a la señal de voz transmitida y recibida respectivamente en una conversación normal, a su vez demuestra que la multiplexación por división del tiempo permite que varias señales de voz digitalizadas sean transmitidas por una misma línea en diferentes ventanas de tiempo.

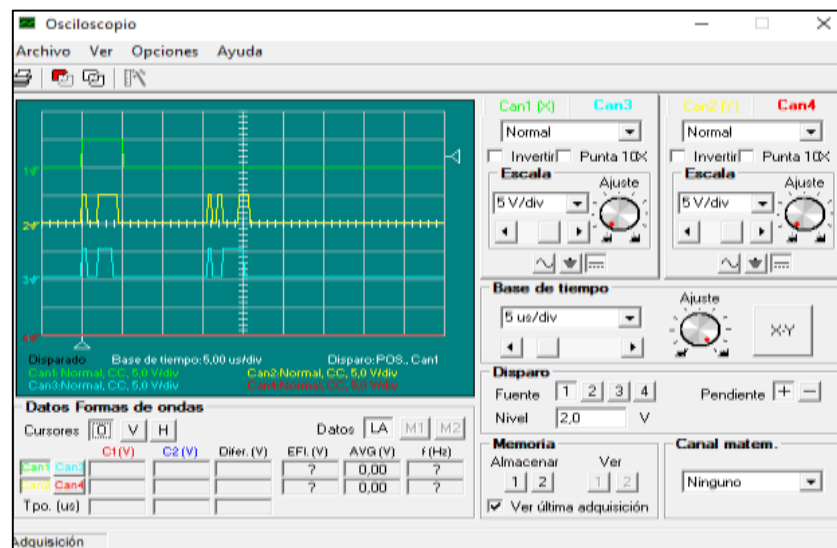


Figura 74-2. Sincronización y Multiplexación por división del tiempo
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.2.9 Ejercicio 10 - Señalización del abonado

Se procedió a analizar el intercambio de señales estándar entre los abonados y la central telefónica en el proceso de una llamada. Estas señales transportadas en este intercambio pueden ser señales de supervisión que es información que indica el estado de los teléfonos y los circuitos de la central telefónica y la señal de direccionamiento que es la información del número de la guía telefónica de los abonados.

La supervisión del estado del teléfono y el timbre telefónico son dos importantes funciones que se realiza en la interfaz de línea, la supervisión del estado (colgado o descolgado) se realiza mediante el SLIC controlando la corriente cc mediante un sensor de corriente con umbral de 6 mA en la línea telefónica como se observa en la Figura 75-2, en donde al descolgar el teléfono empieza a circular la corriente de línea y el SLIC envía un 1 lógico multiplexado en una ventana de tiempo a la central determinando así la solicitud de servicio a la central.

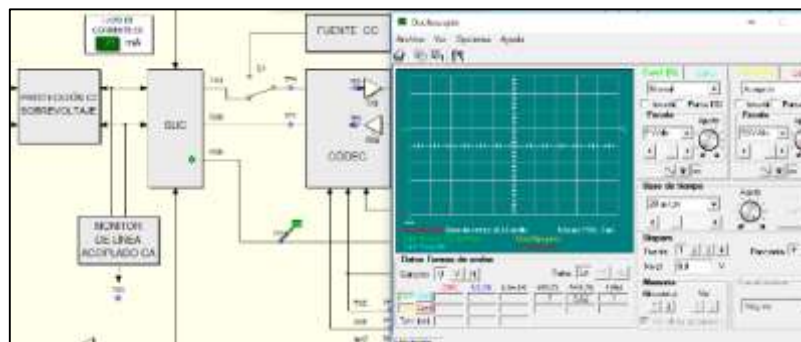


Figura 75-2. Solicitud de servicio a la central (gancho del conmutador descolgado)

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El proceso continua con la respuesta de la central enviando el tono de marcado a la interfaz de línea a través de códigos MIC seriales y en la interfaz a su vez el CÓDEC demultiplexa y convierte el código en una señal analógica que será transmitida al auricular del teléfono como se observa en la Figura 76-2, en donde el canal 3 y 4 representan las señales mencionadas respectivamente y el canal 1 y 2 representan la señal analógica y codificada de corriente de la línea existente.

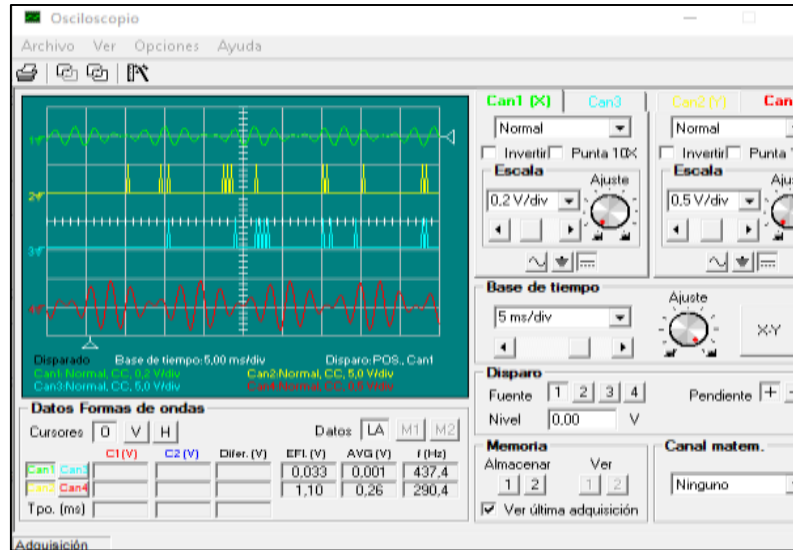


Figura 76-2. Tono de progreso de llamada
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El abonado que realizara la llamada procede a la marcación del número del abonado a llamar, en ese proceso se generan códigos MIC procedente de los tonos de marcación DTMF y del CÓDEC como se observa en la Figura 77-2, en la cual también se suspende la transmisión del tono de marcación enviado por la central.

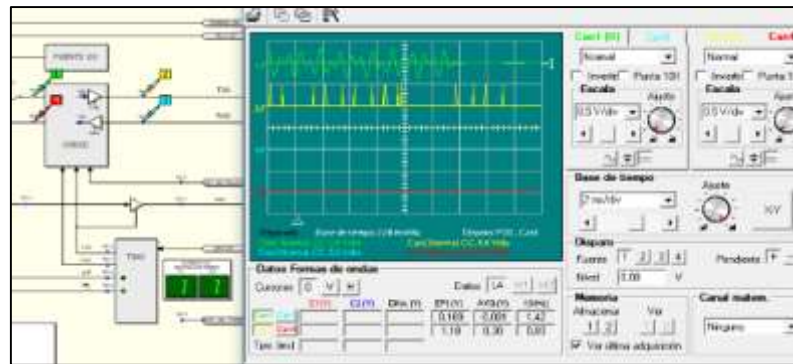


Figura 77-2. Tono de marcación DTMF
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3 Operación de una central telefónica

En este apartado se analizó el funcionamiento de las centrales telefónicas basándose en el estudio del circuito de señalización, la conmutación digital, las funciones y operaciones del procesador de llamadas como control del sistema y el protocolo de señalización en detalle para la identificación del abonado que realiza la llamada.

2.6.3.1 Ejercicio 11 - Demultiplexación y almacenamiento de la señal de estado del auricular

Las señales del estado del auricular de todos las interfaces de línea se envían al procesador de llamadas de la central telefónica, multiplexadas vía el circuito de señalización. EN la central a su vez se requiere de un circuito de Demultiplexación y almacenamiento de las señales del estado del auricular, para hacer que todas las señales mencionadas estén disponible a todo momento para el procesador de llamadas.

En la Figura 78-2, se observa el circuito de demultiplexación y almacenamiento del estado del auricular de la central telefónica cuando el gancho conmutador del teléfono del abonado es liberado generando la petición de servicio. Esta señal se almacena como un 1 lógico en la ventana de tiempo en la memoria intermedia del estado del auricular actualizada una vez cada 125us es decir una trama

		Bus de datos			
		D0	D1	D2	D3
0		1	0	0	0
1		0	0	0	0
2		0	0	0	0
3		0	0	0	0
4		0	0	0	0
5		0	0	0	0
6	Dirección	0	0	0	0
7	(Valores	0	0	0	0
8	decimales)	0	0	0	0
9		0	0	0	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0

Figura 78-2. Memoria intermedia del estado del auricular de la central telefónica.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.2 Ejercicio 12 - Detección del número marcado

El procesador de llamadas de la central telefónica utiliza dos formas de detectar el número marcado por el abonado. En la marcación por pulsos, el procesador de llamadas debe detectar el número de interrupciones de corriente producidos por un conmutador del mecanismo del teléfono, este número de interrupciones depende del dígito marcado. Estos pulsos son enviados multiplexados en el tiempo y demás procesos mencionados en prácticas anteriores hasta llegar al detector de marcación por pulsos, el cual cuanta el número de cambios de estado lógico 1 a 0 en el bit del estado del auricular almacenado en la memoria.

Se ajustó el teléfono B del sistema didáctico a la configuración de marcación con pulsos, se realizó una llamada y como se observa en la Figura 79-2, los números demultiplexados son detectados por el detector de marcación por pulsos del procesador de llamadas, en la cual HS0 corresponde a la línea del estado del auricular asociado con un banco de registros de interfaces de línea de la interfaz de línea del teléfono B de donde se realizó la llamada.



Figura 79-2. Detección de marcación por pulsos
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En segunda instancia, se realizó una llamada desde el teléfono A en marcación por tonos al teléfono B, para visualizar que el detector de DTMF del circuito de señalización es el encargado en la central telefónica de detectar los dígitos demultiplexados por los circuitos de señalización de la central como se observa en la figura 80-2.

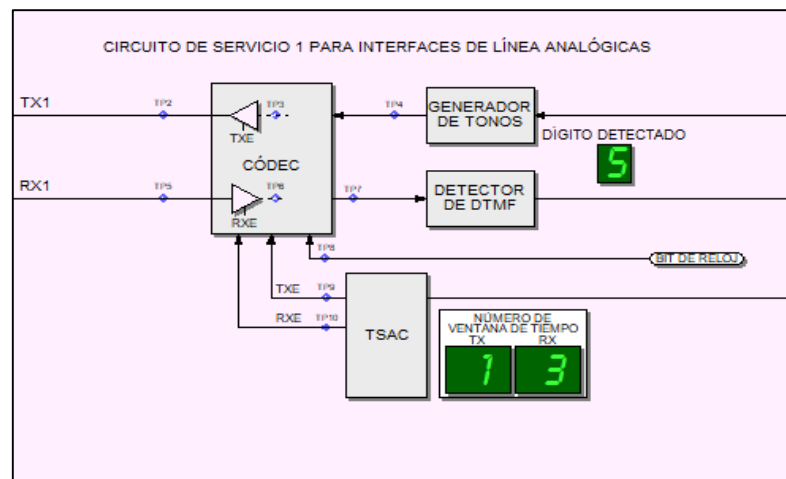


Figura 80-2. Detección de marcación por tonos
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.3 Ejercicio 13 - Generación de tonos de progreso de llamada y de la señal de timbre

Antes de que una conexión sea establecida entre abonados, se establece un dialogo entre el abonado que realiza la petición de llamada y el procesador de llamadas de la central, los mensajes generados por el procesador de llamadas son tonos de progreso de llamada los cuales pueden ser invitación a marcar, ocupado, receptor descolgado y timbre hacia el abonado llamado.

En este procedimiento se visualizó los intervalos de modulación y componentes en frecuencia de los tonos de progreso de llamada como se observa en el Anexo E.

En consecuencia se obtuvo la Tabla 24-2, el análisis del registró de cada uno de los valores provistos.

Tabla 24-2. Tonos de progreso de llamada e intervalos y componentes de frecuencia

Tono de progreso de llamada		Invitación a marcar	Timbre	Ocupado	Receptor descolgado
Intervalo de modulación	Encendido (s)	Sonido continuo	2	0.5	0.1
	Apagado (s)		4	0.5	0.1
Frecuencia de componente espectral (Hz)		350 440	440 480	480 620	1400 2060 2450 y 2600

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.4 Ejercicio 14 - Conmutación por división en el tiempo

En el procedimiento de esta sección se analizó a profundidad la técnica de conmutación por multiplexación en el tiempo y por división en el tiempo, las cuales permiten la conexión de dos circuitos separados físicamente (circuitos de servicio o interfaces de línea).

Se realizó la asignación del registro del control de conmutación por división en el espacio para establecer una conmutación manualmente, logrando que exista una conexión en todas las ventanas de tiempo como se observa en la Figura 81-2.

Ventana de tiempo	Línea de entrada		
	TX0	TX1	TX2
1	01		
2	01		
3	01		
4	01		
5	01		
6	01		
7	01		
8	01		
9	01		
10	01		
11	01		
12	01		
13	01		
14	01		
15	01		
16	01		

Figura 81-2. Asignación manual del registro de control de conmutación.
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Del mismo modo, se ajustó manualmente las ventanas de tiempo de los circuitos de servicio del circuito de señalización para que exista una conexión física entre la interfaz de línea analógica A y el circuito de servicio 2 y la interfaz de línea analógica B y el circuito de servicio 1, permitiendo así una conexión simultanea de varios dispositivos a través de una única línea física por medio de la multiplexación por división de tiempo, sin necesidad de exista una conexión de conmutación en el espacio como se observa en la Figura 82-2, donde el canal 1 y 2 representan las entradas analógicas al CÓDEC de cada interfaz de línea analógica A y B y el canal 3 y 4 representan las salidas analógicas recuperadas en el CÓDEC del circuito de servicio 1 y 2 respectivamente, en la cual aparecen las entradas y salidas analógicas de las señales de marcación DTMF realizadas al mismo tiempo por cada teléfono.

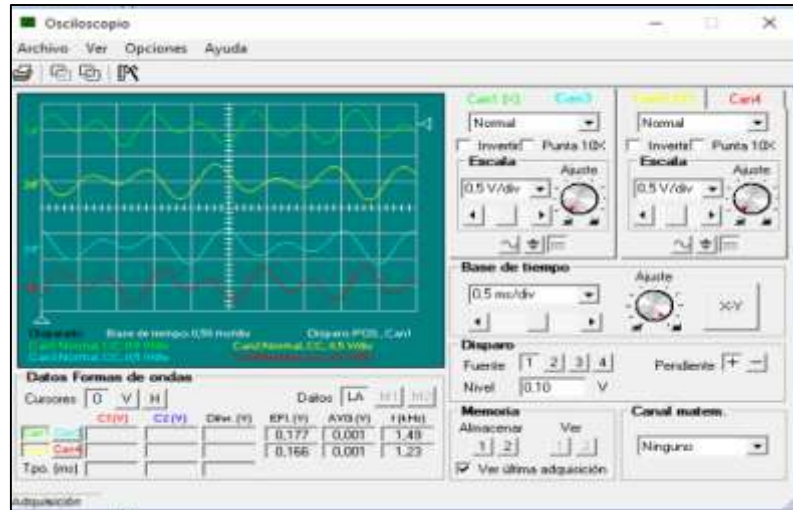


Figura 82-2. Conexión simultánea en una línea a través de conmutación por multiplexación en el tiempo
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.5 Ejercicio 15 - Conmutación por división en el espacio

Para esta sección se analizó la el proceso de conmutación de división en el espacio en el sistema didáctico forzando al circuito de conmutación del conmutador en mención, a realizar conexiones espaciales específicos entre sus líneas de transmisión y recepción, observando la transferencia que existe entre una interfaz de línea analógica y un circuito de servicio de las señales digitalizada y multiplexadas como se observa en la Figura 83-2,

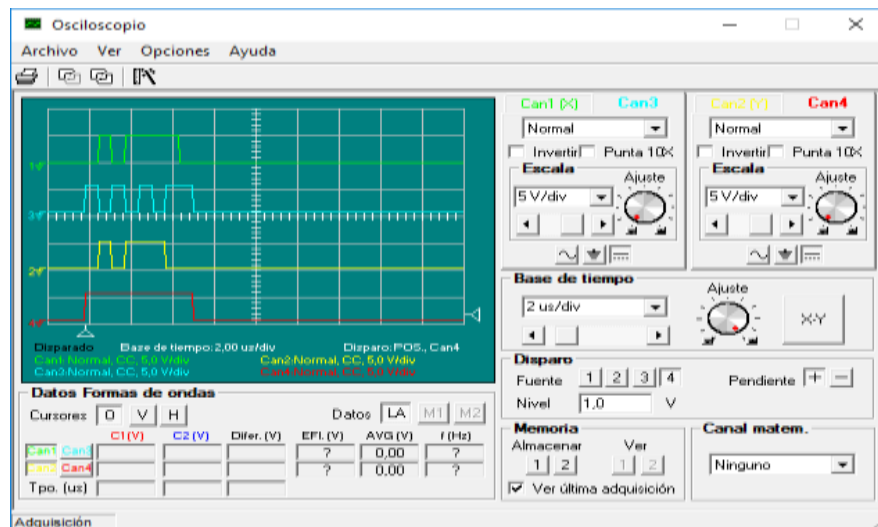


Figura 83-2. Conexión física simultánea en una línea de transmisión y recepción a través de conmutación por división en el espacio
 Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Donde el canal 1 y 3 visualizan las líneas de transmisión y recepción del circuito de señalización respectivamente y el canal 2 y 4 representan la línea de recepción y señal de sincronización de la interfaz de línea analógica A, por consiguiente se establece una conexión física de las líneas de transmisión y recepción durante una ventana de tiempo apropiada en el espacio por determinado tiempo.

2.6.3.6 Ejercicio 16 – bidimensional

Se estudió la conmutación bidimensional basándose en la conmutación tiempo-espacio utilizada por el sistema didáctico, en donde existe un número máximo de 72 conexiones bidireccionales 24 (ventanas de tiempo) \times 3 (líneas de espacio de salida). Cabe señalar que configurando el sistema didáctico a 30 canales de ventanas de tiempo, se pueden realizar un máximo de 90 conexiones bidireccionales.

Teniendo en cuenta lo mencionado y como se observa en la Figura 84-2, al realizar una llamada son dos el número de conexiones bidireccionales existentes en una conversación normal, las cuales son realizadas y dirigidas por el procesador de llamadas a través de los datos de control de conmutación almacenados en su registro. El canal 1 y 2 muestran los códigos MIC transmitidos y recibidos desde el teléfono A al teléfono B y viceversa, en el canal 3 y 4 a su vez se observa la sincronización existente entre las ventanas de tiempo y el reloj de sincronización de una trama respectivamente, donde en las 24 ventanas existentes la ventana 1 y 7 son utilizadas para la transmisión y recepción.

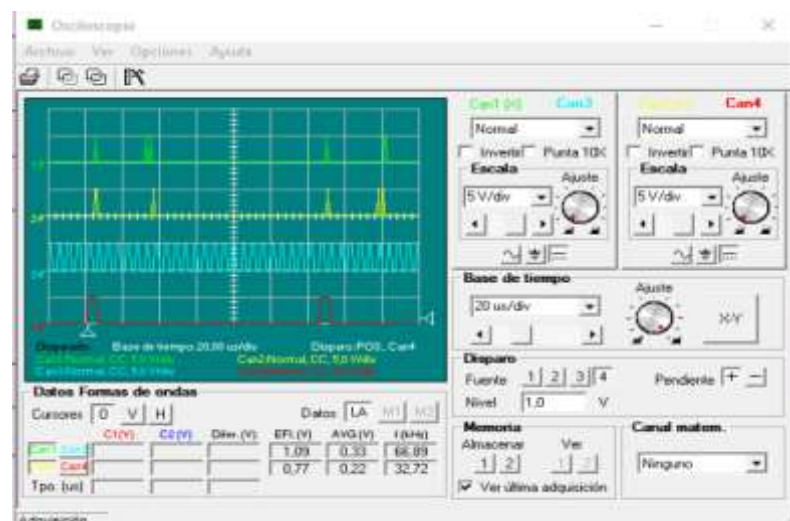


Figura 84-2. Conmutación bidireccional en ventanas de tiempo 1 y 7 para Tx y Rx.

Realizado por: (Denny Posligna, 2018)

2.6.3.7 Ejercicio 17 - Funciones del procesador de llamadas

El procesador de llamadas, procesador central o computador de control central, es un tipo de control por programa almacenado que utilizan las centrales para conmutar o realizar interconexiones controlados por una base de datos y un computador. Este facilita la configuración de la central telefónica para que cumpla con los estándares telefónicos utilizados en los diversos países.

El procesador de llamadas se encarga de intercambiar datos con las interfaces de línea. Los circuitos de conmutación y de señalización, y las interfaces de enlace, todo esto realizando funciones de supervisión, señalización, recepción y procesamiento de números marcados y control de la conexión.

En esta sección el sistema didáctico ofrece un registro de las funciones realizadas en el procesador de llamada durante el procesamiento de una llamada como se observa en la figura 85-2, en la cual se guarda un registro de las acciones realizadas.

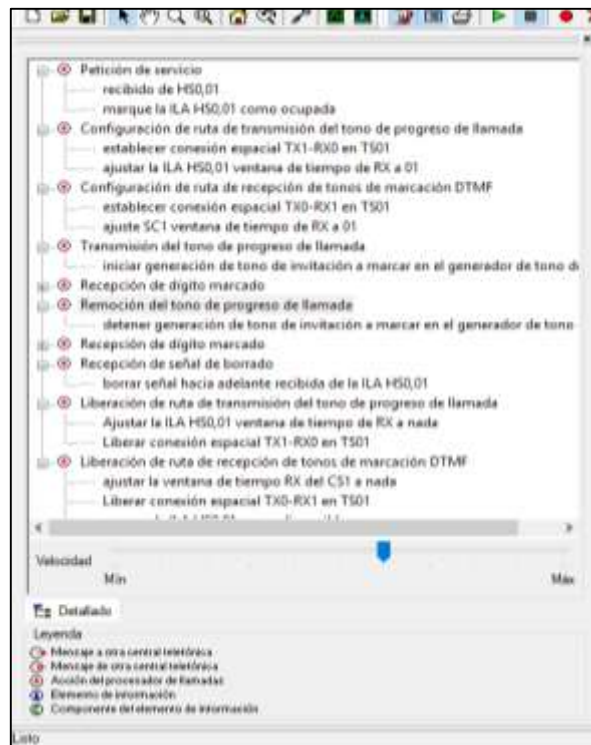


Figura 85-2. Registro del procesador de llamadas
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se procedió a registrar las acciones en el procesador de llamadas, desde la liberación del gancho conmutador del abonado A (levantar el auricular) hasta el timbrado en recepción del abonado B, y a clasificar las acciones observadas en base a cada función que realiza el procesador de llamadas como se visualiza en la Tabla 25-2.

Tabla 25-2. Acción y función del registro de procesador de llamadas

Función	Acción
Supervisión del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Petición de servicio • Recepción de señal de borrado
Señalización	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión de tono de progreso de llamada • Remoción de tono
Recepción y procesamiento de número marcado	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción de cada dígito marcado
Conexión y control	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración de ruta de transmisión de tono de progreso de llamada • Configuración de ruta de recepción de DTMF • Liberación de rutas de Transmisión de tono de progreso de llamada y Recepción de tono DTMF

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

De acuerdo con lo registrado se relacionó cada evento realizado al momento de intentar realizar una llamada con las acciones que toma el procesador de llamada y se generó la Tabla 26-2.

Tabla 26-2. Acción y función del registro de procesador de llamadas

Evento	Acción
Levantar el auricular del teléfono	<ul style="list-style-type: none"> • Petición de servicio • Configuración de ruta de transmisión de tono de progreso de llamada • Configuración de ruta de recepción de DTMF • Transmisión de tono de progreso de llamada
Marcación de dos dígitos del teclado del teléfono	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción de primer dígito marcado • Remoción de tono de progreso de llamada • Recepción de siguiente dígito marcado
Colocar el auricular del teléfono a su horquilla	<ul style="list-style-type: none"> • Recepción de señal de borrado • Liberación de rutas de Transmisión de tono de progreso de llamada y Recepción de tonos DTMF

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.8 Ejercicio 18 - configuración de la central telefónica

En mención a que el procesador de llamadas utiliza un control de programa almacenado, que puede realizar múltiples funciones de configuración de la central telefónica para cumplir con los estándares de telefonía al que se acoge cada país, el sistema didáctico en esta sección provee una configuración de los diferentes parámetros utilizados en el sistema como se muestra en la Figura 86-2, figura 87-2, Figura 88-2.

En la central telefónica se puedes configurar el número de canales multiplexados, el tipo y característica del CÓDEC, la cadencia y frecuencia en el voltaje de timbre y las frecuencias e intervalos de modulación de los tonos del progreso de las llamadas, etc. A su vez se realiza la configuración de las resistencias utilizadas en las líneas de interface, nombres y números y servicios prestados al abonado.

Procesador de Llamadas

Número de central telefónica: 555

Detección de número telefónico: Habilitado

Interfaz de línea analógica A

Nombre de abonado (15 caract. máx.): Suscriptor A

Número telefónico: 555-1001

Servicio básico: Habilitado

ID del abonado que llama: Habilitado

Interfaz de línea analógica B

Nombre de abonado (15 caract. máx.): Suscriptor B

Número telefónico: 555-1002

Servicio básico: Habilitado

ID del abonado que llama: Habilitado

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 86-2. Configuración del procesador de llamadas.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)



Figura 87-2. Configuración general de central telefónica
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

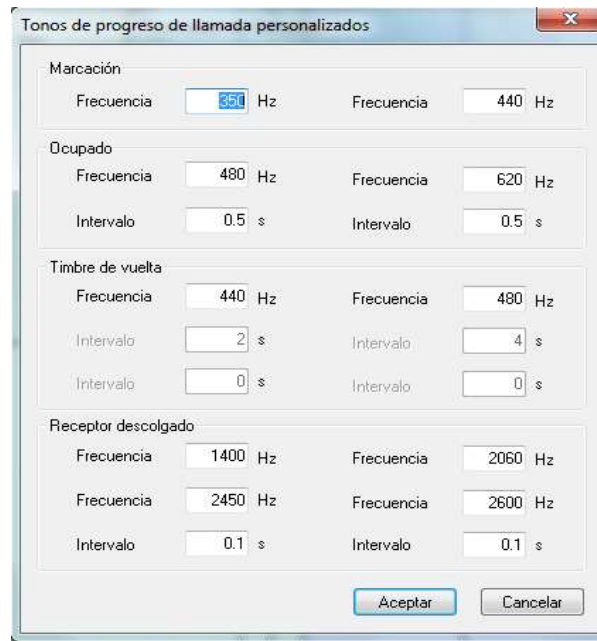


Figura 88-2. Configuración de tonos de progreso de llamadas
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.3.9 Ejercicio 19 - Identificación del abonado que llama

La identificación del abonado que llama es uno de los servicios suplementarios que utilizan las operadoras a manera de suscripción del servicio. En el sistema didáctico de telefonía se puede observar esta función configurando el servicio en la configuración del procesador de llamadas. A su vez se logró visualizar que los datos de ID del abonado que realiza la llamada, son generados por el procesador de llamadas y convertidos en una señal FSK por el generador de tonos en el circuito de

señalización, para ser posterior enviados a la interfaz de línea del abonado llamado como se observa en la Figura 89-2.



Figura 89-2. Señal FSK en salida del CÓDEC de línea de abonado A
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Donde el canal 2 representa la señal FSK, que contiene información del abonado que llama (abonado B) en la salida del CÓDEC de la interfaz de línea analógica A, disparada en segunda instancia al final de la primera ráfaga del timbre, cuya duración es de 0.71s.

Posterior haciendo una reproducción de la acción de transmisión de datos en el registro de procesador de llamadas, se visualizó en el circuito de señalización 2 el segmento del mensaje enviado expresado en números hexadecimales. Decodificando el segmento a partir del código ASCII, como se muestra a continuación, se obtuvo la siguiente información:

“C25 80H 21H 01 08[30 38 32 31 31 36 30 35] 02 07 [32 37 32 30 30 31] 07 0C [53 75 73 63 72 69 70 74 6F 72 20 42] “

Fecha y hora de llamada: Agosto 21, 16:05.

Nombre del abonado que llama: Suscriptor_B.

Número telefónico: 277 2001.

2.6.4 Central Telefónica Automática Privada (PABX)

En esta sección, se realizó el estudio de las PABX digitales en base al análisis de su arquitectura y funcionamiento de cada etapa y procedimiento interno. Se analizó la portabilidad, el proceso de señalización, el progreso de llamadas y la función de intercomunicación.

2.6.4.1 Ejercicio 20 - Arquitectura de una PBX digital

Se procedió a instalar la interfaz de teléfonos digitales en una ranura digital del MDR conjuntamente con dos teléfonos digitales (RDSI) a los conectores A izquierdo (AI) y A derecho (AD), a su vez se inició el software del sistema didáctico en el ordenador, configurando el módulo de forma que opere como central telefónica automática privada (PABX), como se observa en la Figura 90-2.

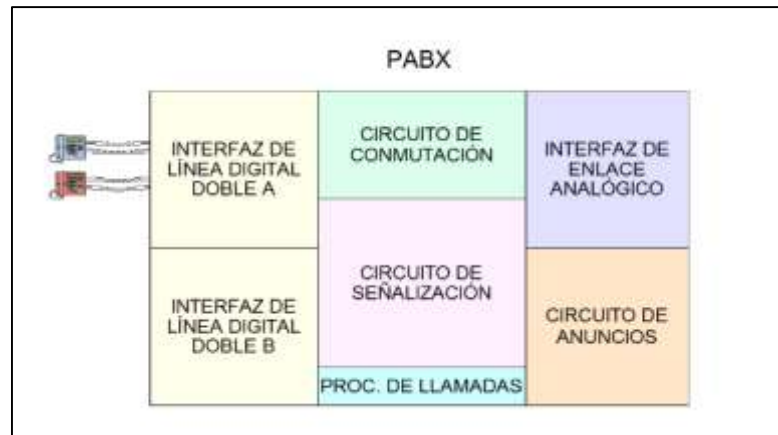


Figura 90-2. Interfaz de central telefónica automática privada PABX
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se analizó las similitudes y diferencias que existen en relación con una central telefónica, en la cual se observó que poseen los mismos elementos básicos los cuales proveen una interfaz de línea para los teléfonos, un circuito de conmutación, señalización, procesador de llamadas y una interfaz de enlace, a su vez es visible un circuito de anuncios. La diferencia marcada con la central analógica son las interfaces de línea digital, existe un puente para llamada de conferencia en el bloque de conmutación, procesamiento digital de señalización y un generador de tonos en la unidad de señalización y un bloque de demultiplexado y almacenamiento del estado de la conexión.

Se desarrolló el procedimiento para observar como la información de voz proveniente de cada teléfono es direccionada hacia la entrada del conmutador en el espacio del circuito de conmutación y posterior se re-direcciona a otro teléfono de la misma interfaz de línea digital doble. Como se observa en la Figura 91-2 y Figura 92-2, las ventanas asignadas a transmisión y recepción en la línea de interfaz digital doble de AI en el canal B1 y AD en el canal B2 es la ventana 5.

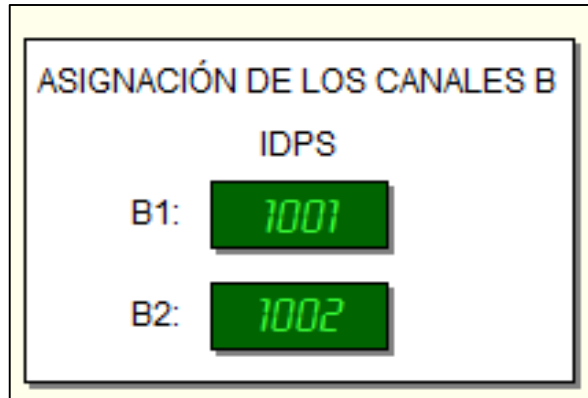


Figura 91-2. Asignación de canal a la línea de interfaz doble
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

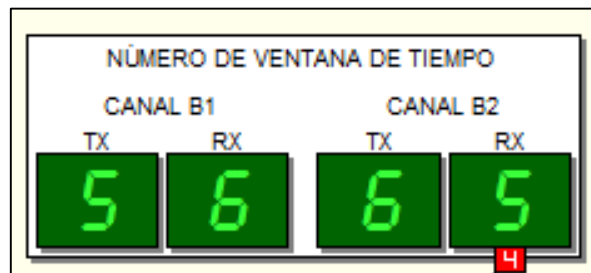


Figura 92-2. Asignación de ventana de tiempo a cada canal
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En consecuencia la voz en transmisión por el AI es multiplexada, codificada, decodificada y demultiplexada en la línea de interfaz digital doble ILDD a la que pertenece y enviada a la ID. En la Figura 93-2, el canal 1 asocia la señal MIC del canal B1, el canal 2 representa la señal de control para multiplexor la señal de voz digitalizada, el canal 3 representa la información de voz en la entrada del conmutador por división en el espacio y la señal de sincronización de la trama se visualiza en el canal 4.

El direccionamiento termina con el ID recibiendo en el canal B2 la señal MIC proveniente del teléfono AI, el conmutador por división en el espacio a través de la interfaces de recepción como se observa en la Figura 94-2, en donde se representan las señales de voz MIC codificadas, la ventana de tiempo utilizada, la salida del conmutador multiplexada por división en el espacio por parte del conmutador y la señal de sincronización respectivamente.

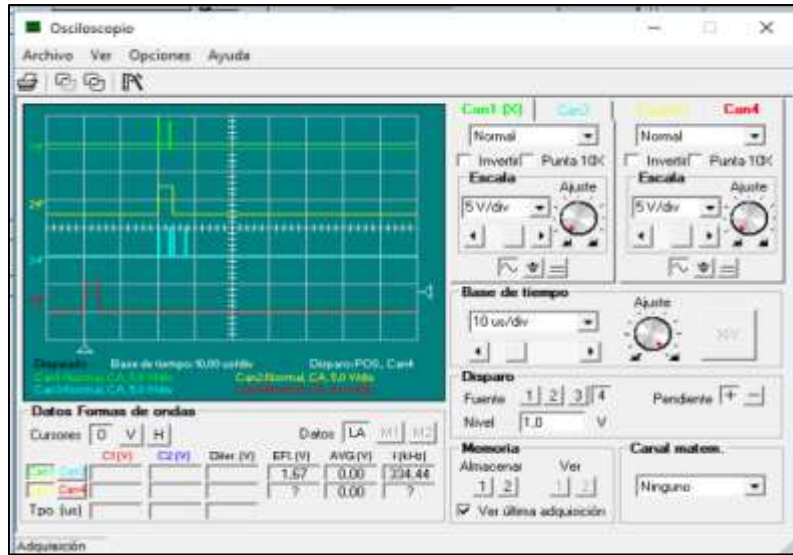


Figura 93-2. Señal de voz del B1 codificada y transmitida en la ventana de tiempo 5
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

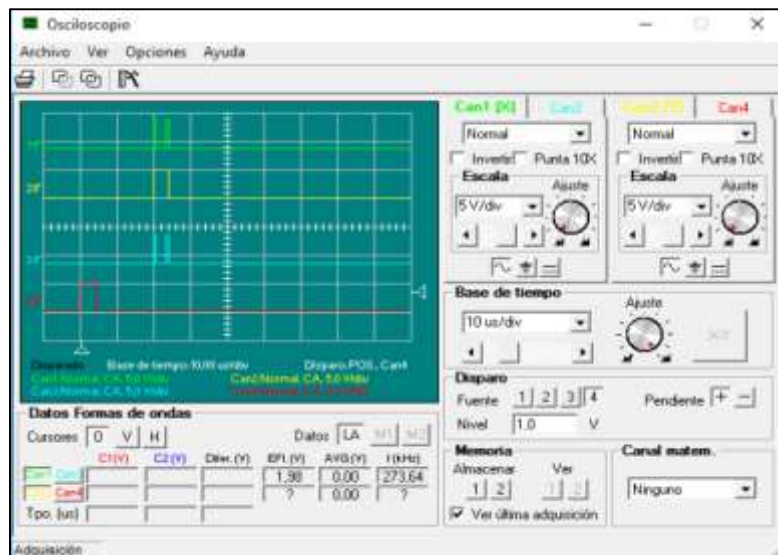


Figura 94-2. Señal de voz del B2 recibida en la ventana de tiempo 5
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.4.2 Ejercicio 21 - Portabilidad del teléfono digital

Partiendo de la comparativa de la no portabilidad que existe en una central telefónica, en el uso de una central telefónica automática privada existe la característica de que un teléfono digital sea conectado a cualquier interfaz de línea digital absteniéndose al cambio de número telefónico o cambio de reconfiguración de un numero perteneciente a la nueva línea de abonado a la que es trasladado.

En este apartado se analizó la portabilidad del teléfono digital, visualizando la tabla de referencia de direccionamiento del procesador de llamadas, donde a cada teléfono se le asigna un IDPS único y a

su vez la memoria de la PABX asigna un número de terminal o extensión como se observa en la Figura 95-2.

IDPS	Número de terminal	Interfaz de línea digital doble	
		ID	Canal B
1001	301	A	B1
1002	302	A	B2
1003	303	--	--
1004	304	--	--

Figura 95-2. Memoria de la tabla de referencia de direccionamiento en la PABX
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se visualizó que cuando el teléfono digital es conectado a cualquier interfaz de línea analógica en la PABX, automáticamente se envía el IDPS asociado a ese teléfono por medio del canal D (canal de señalización) de la ILDD al procesador de llamadas, indicando la línea de interfaz a la que se conectó y registrándolo en la memoria de la tabla de referencia de direccionamiento.

Cabe señalar que la asignación de los canales de transmisión de información se activan tan pronto el teléfono solicite el servicio del progreso de la llamada. En la Figura 96-2, se muestra la asignación del canal portador y la portabilidad para el teléfono digital B en la interfaz de línea digital doble ILDD B y la asignación del canal portador al teléfono digital A en la interfaz de línea digital doble ILDD A.

IDPS	Número de terminal	Interfaz de línea digital doble	
		ID	Canal B
1001	301	A	B1
1002	302	B	B1
1003	303	--	--
1004	304	--	--

Figura 96-2. Portabilidad en memoria de la tabla de referencia de direccionamiento
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.4.3 Ejercicio 22 - Procedimiento para establecer una llamada interna

En las centrales telefónicas de la red conmutada de servicios integrados como se analizó en operación de la central telefónica, el procesador de llamadas controla la disponibilidad de la conexión a través

de mensajes de señalización, intercambiando la información por el mismo medio que se transmite y recibe las señales de voz. En el análisis de esta sección se observó el procedimiento para el establecimiento de una llamada analizando de igual manera las funciones que realiza el registro de procesador de llamada, examinando los mensajes de control existentes en cada fase de control en el proceso de la comunicación.

Se realizó el procedimiento de señalización utilizando el método de envío en bloque, el cual consiste en primero marcar el número de teléfono del abonado a llamar y después levantar el teléfono, posterior se estableció la llamada y se analizó el registro de control como se observa en la secuencia de señalización de la Figura 97-2.

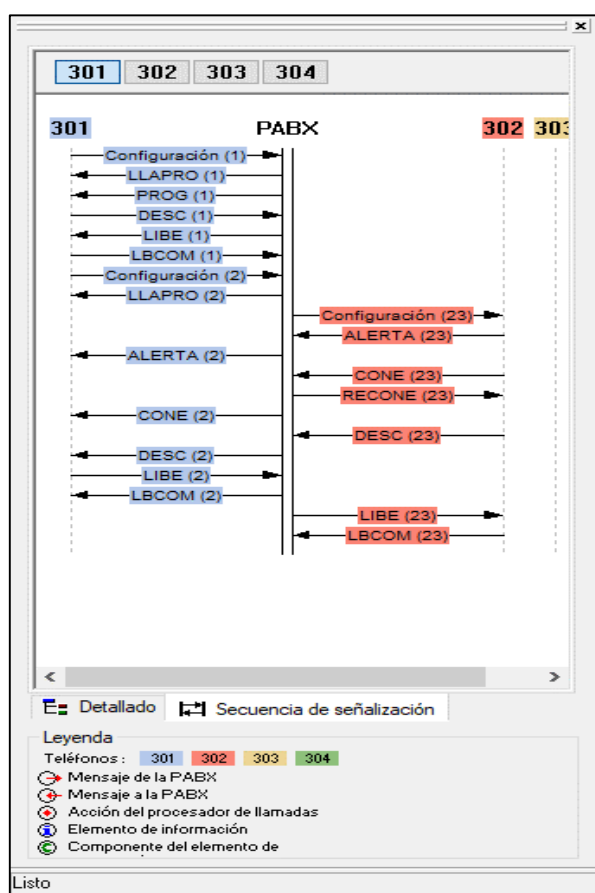


Figura 97-2. Secuencia de señalización método de envío en bloque.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En cuanto al establecimiento de la llamada y la secuencia de señalización que existe realizando el método de envío solapado, es decir levantando primero el auricular y procediendo al marcado y establecimiento de la llamada, se observó que la secuencia de señalización es similar, no obstante implica retardo en procesamiento ya que antes de establecer y procesar la llamada, varios mensajes

son intercambiados entre el teléfono y el procesador de llamadas. En el Anexo F y Anexo G se observa el registro de procesador de llamadas usando el método de envió en bloque y solapado respectivamente.

2.6.4.4 Ejercicio 23 - Indicación del progreso de la llamada

En esta sección se analizó los tonos de progreso de llamada y su direccionamiento hacia los teléfonos digitales mediante la línea de transmisión del generado de tonos de progreso de llamada y las ventanas de tiempo asignadas a cada uno de los cuatro tonos de progreso de llamada. En la Figura 98-2, se puede observar la señal de salida del generador del tono de llamada, en donde el canal 1 y 2 representa la señal analógica producida en un tiempo de 2 segundos y apagado en 4 segundos y su respectiva señal codificada MIC a la salida del Códec del generador de tonos de llamada.

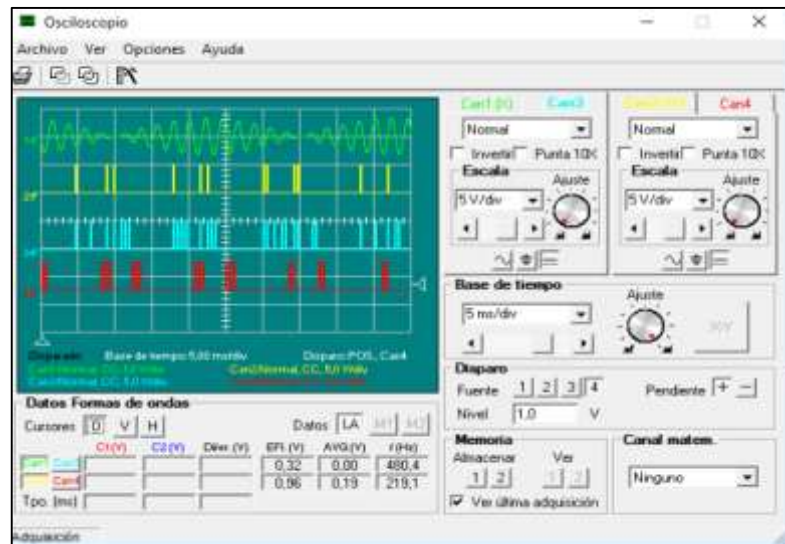


Figura 98-2. Señal analógica, codificada y transmitida del Tono de llamada
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

2.6.4.5 Ejercicio 24 - Intercom

Se analizó la funcionalidad del circuito de Intercomunicación existente en el circuito de anuncios en la PABX como se observa en la Figura. 99-2. Para esta sección se analizó como la señal de voz en el intercomunicador es amplificada para su posterior transmisión a parlantes de comunicación a través de la conexión de un canal B dedicado asociado con el teléfono del usuario usando una comunicación unidireccional

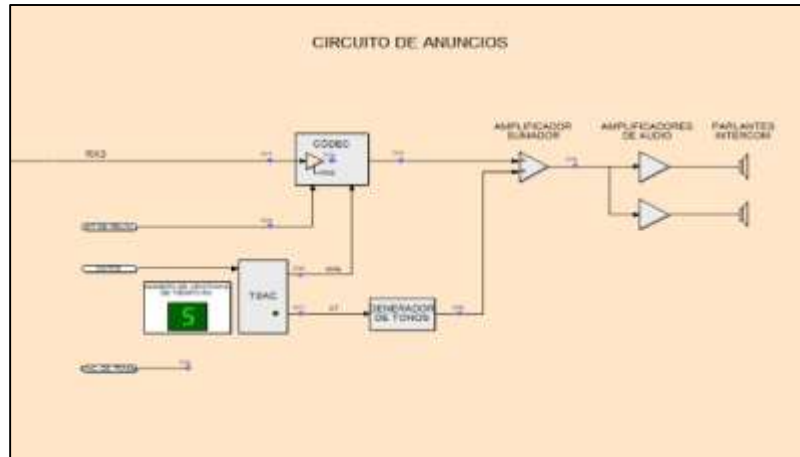


Figura 99-2. Circuito de anuncios de la PABX para intercomunicación.
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

En la figura 100-2, el circuito de anuncios convierte la señal de voz digitalizada a señal analógica amplificada y direccionada hacia a los parlantes.

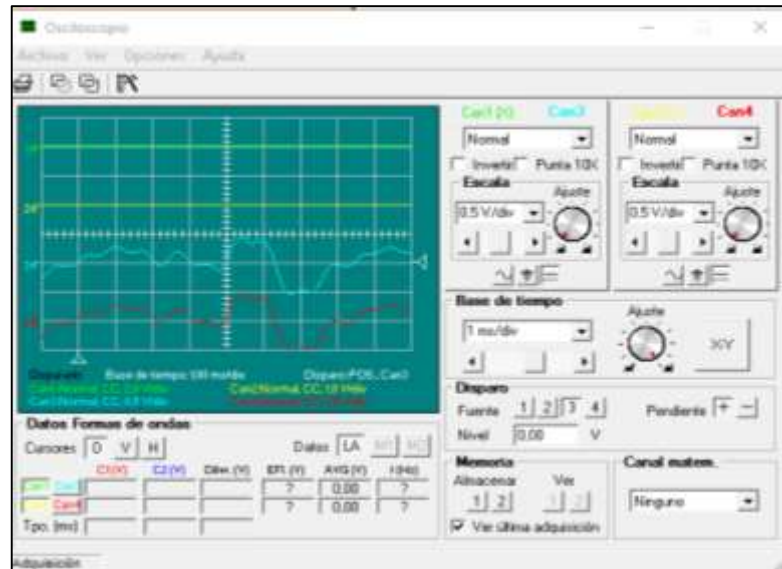


Figura 100-2. Señal analógica de voz decodificada y transmitida
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

CAPÍTULO III

3 ANALISIS Y MARCO DE RESULTADOS

Para el siguiente capítulo se presenta el análisis de los diversos parámetros utilizados en el sistema entrenador de comunicaciones satelitales, realizando la medición y cálculos de los mismos, comprobando así los datos suministrados en las guías de usuario provistas por el sistema de comunicación satelital.

Posterior se obtuvo un resultado en el análisis de parámetros manejados en el sistema telefónico

3.1 Parámetros de antenas y ganancias

3.1.1 Pérdidas por línea de alimentación.

Para determinar las ganancias aproximadas en los módulos se tomó en cuenta las perdidas en los cables de microondas SMA que se conectan a estos.

En consecuencia a lo mencionado se registró los valores de potencia de recepción con uno y dos cables de microonda para calcular las pérdidas por línea de alimentación como se observa en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Perdida por línea de alimentación (longitud de cable), enlace de subida y bajada.

Parámetro	Valor		Unidad
Frecuencia	8.998	10,999	GHz
Potencia con un solo cable de microonda	-45.41	-1.25	dBm
Potencia con dos cables de microonda	-47.51	-3.9	dBm
Perdidas por línea de alimentación (longitud de cable) Lf	2.10	2.65	dB

Realizado por: Denny Posligua (2018)

Posterior, se registró las potencias en la salida de FI 2 y FI 1 de la estación terrena receptora, conectándola al analizador de espectro del instrumento virtual. Ver Tabla 2-3 y Tabla 3-3.

Tabla 2-3. Perdida por Longitud de cable en FI 2.

Parámetro	Valor	Unidad
Frecuencia	1.56	GHz
Potencia con un solo cable de microonda	-16.94	dBm
Potencia con dos cables de microonda	-17.96	dBm
Perdidas por línea de alimentación (longitud de cable) Lf	1.02	dB

Realizado por: Denny Posligua (2018)

Tabla 3-3. Pérdida por Longitud de cable en FI 1.

Parámetro	Valor	Unidad
Frecuencia	280	MHz
Potencia con un solo cable de microonda	-4,9	dBm
Potencia con dos cables de microonda	-5.14	dBm
Perdidas por línea de alimentación (longitud de cable) Lf	0,24	dB

Realizado por: Denny Posligua (2018)

3.1.2 Ganancia del repetidor

Seleccionando cada canal por turnos tanto en el repetidor como transmisor, se registró el nivel de potencia y frecuencia en la entrada y salida del satélite repetidor como se observa en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Ganancia del satélite repetidor

Canal	Fin (GHz)	Fout (GHz)	Pin (dBm)	Pout (dBm)	Grep (dB)
A	10.699	8.698	-36.721	-9.562	27.16
B	10.799	8.798	-34.856	-8,772	26.08
C	10.899	8.898	-34.205	-10.948	23.26
D	10.999	8.998	-37.231	-11.662	25.57
E	11.099	9.098	-34.676	-13.461	21,22
F	11.199	9.198	-32.556	-11.466	21.09

Realizado por: Denny Posligua (2018)

Dado estos parámetros, se calculó la ganancia aplicando la Ecuación 1-3, tomando en consideración las pérdidas en los cables en el enlace de subida y bajada. Ver Tabla 5-3

$$G_{REP[dBi]} = (Pout + Lfup) - (Pin + Lfin) \quad \text{Ecuacion. 1-3}$$

Tabla 5-3. Ganancia del satélite repetidor considerando pérdidas por cable

Canal	Grep (db) -lf
A	26,61
B	25.53
C	22.71
D	25.02
E	20.67
F	20.54

Realizado por: Denny Posligua (2018)

3.1.3 Ganancia de convertidor de nivel descendente 2

Debido a que en la recepción de estación terrena el convertidor de nivel hacia abajo causa un gran cambio en el nivel de la frecuencia, se midió la potencia de entrada en la antena de recepción y la potencia de la señal en la salida FI 2 y se calculó la ganancia del convertidor de nivel descendente 2 como se muestra en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3. Ganancia de convertidor de nivel descendente 2

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia de entrada de RF , P_{in}	-45,36	dBm
Potencia de salida de FI 2 (un cable), $P_{out, FI 2}$	-16,56	dBm
Perdida de cables en FI 2, $L_{cable, FI 2}$	1.02	dB
Ganancia de convertidor G_{DC2}	29.82	dB

Realizado por: Denny Posligua, 2018)

3.1.4 Ganancia de las antenas

Se calculó la ganancia de las antenas de bocina de gran apertura y de apertura pequeña mediante la Ecuación 2-3 a distintos niveles de frecuencia de subida y bajada además de distintas conexiones para al finalizar realizar una comparativa de ganancia a cada nivel de frecuencia.

$$G_{ant[dbi]} = 10 \log\left(\frac{4\pi Rf}{c}\right) + \frac{1}{2}(P_{R[dbm]} - P_{T[dbm]}) \quad \text{Ecuación 2-3.}$$

3.1.4.1 Ganancia de la antena de bocina de gran apertura frecuencias de subida

Este procedimiento consto en calcular la ganancia en las antenas en la configuración de enlace ascendente como se observa en la Figura 1-3, conectando el par de antenas de bocina de gran apertura en el enlace ascendente y conectando el par de antenas de bocina de apertura pequeña en el enlace descendente.

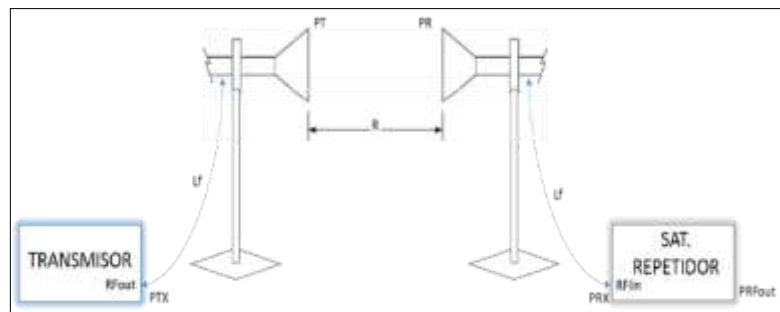


Figura 1-3. Enlace ascendente con antenas de bocina de gran apertura.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se seleccionó cada canal sucesivamente y se obtuvo las mediciones con el analizador de espectros del instrumento virtual como se observa en la Tabla 7-3, para proceder a evaluar los datos obtenidos en la ecuación de ganancia.

Tabla 7-3. Ganancia de antena de bocina de gran apertura, en frecuencia de subida.

Canal	A	B	C	D	E	F	Unid.
Frecuencia (f_{UP})	10.7	10.8	10.9	11	11.1	11.2	GHz
Distancia (R)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	Mts
Perdida de Cable (L_f)	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	dB
Potencia medida transmitida (P_{TX})	0.28	0.78	0.52	0.61	-0.37	-0.35	dBm
Potencia transmitida (P_T)	-2.37	-1.87	-2.13	-2.04	-3.02	-3	dBm
Ganancia del sat-rep (G_{REP})	27.16	26.08	23.26	25.57	21,22	21.09	dB
Potencia medida recibida (P_{RFout})	-9	-9.25	-10.31	-9.25	-11.75	-11.37	dBm
Potencia recibida (P_R)	-33.51	-32.68	-30.91	-32.17	-30.32	-29.81	dBm
Ganancia de antena (G_{ant})	14.92	15.13	16.18	15.55	17.0	17.27	dBi

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.4.2 Ganancia de la antena de bocina de apertura pequeña frecuencias de bajada

En el procedimiento para realizar los cálculos se consideró al satélite repetidor como transmisor tal como se observa en la Figura 2-3, ubicando las antenas a una distancia de 2.5 metros y obteniendo las mediciones a través del analizador de espectros del instrumento virtual tomando en consideración pérdidas en cables y atenuaciones como se observa en la Tabla 8-3.

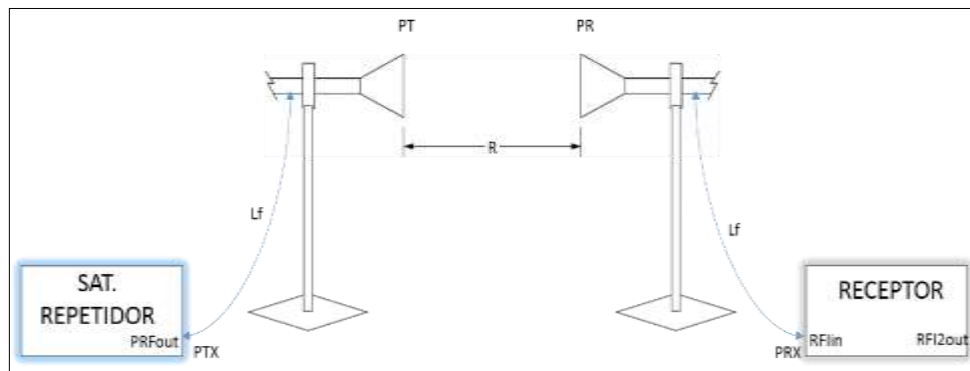


Figura 2-3. Enlace descendente con antenas de bocina de apertura pequeña.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 8-3. Ganancia de antena de bocina de apertura pequeña, en frecuencia de bajada.

Canal	A	B	C	D	E	F	Unid.
Frecuencia (f_{UP})	8.7	8.8	8.9	9	9.1	9.2	GHz
Distancia (R)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	Mts
Perdida de Cable (L_f)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.1	dB
Potencia medida transmitida (P_{TX})	-9	-9.25	-10.3	-10.25	-11.75	-11.37	dBm
Potencia transmitida (P_T)	-11.1	-11.35	-12.4	-12.35	-13.85	-13.47	dBm
Potencia medida recibida ($P_{FI2 out}$)	-8.78	-8.91	-9.96	-10.31	-11.36	-10.83	dBm
Ganancia del convertidor ($G_{DC 2}$)	29.82	29.82	29.82	29.82	29.82	29.82	dB
Potencia recibida (P_R)	-36.5	-36.63	-37.68	-38.03	-39.08	-38.55	dBm
Ganancia de antena (G_{ant})	16.89	17.0	17.05	17.61	17.18	17.71	dBi

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.4.3 Ganancia de la antena de bocina de gran apertura frecuencias de bajada

Este procedimiento consto en realizar los cálculos teniendo en cuenta que el satélite repetidor actuará como transmisor tal como se observa en la Figura 3-3, ubicando las antenas de gran apertura a una distancia de 2.5 metros y obteniendo las mediciones a través del analizador de espectros del instrumento virtual, tomando en consideración las pérdidas en cables y atenuaciones como se observa en la Tabla 9-3.

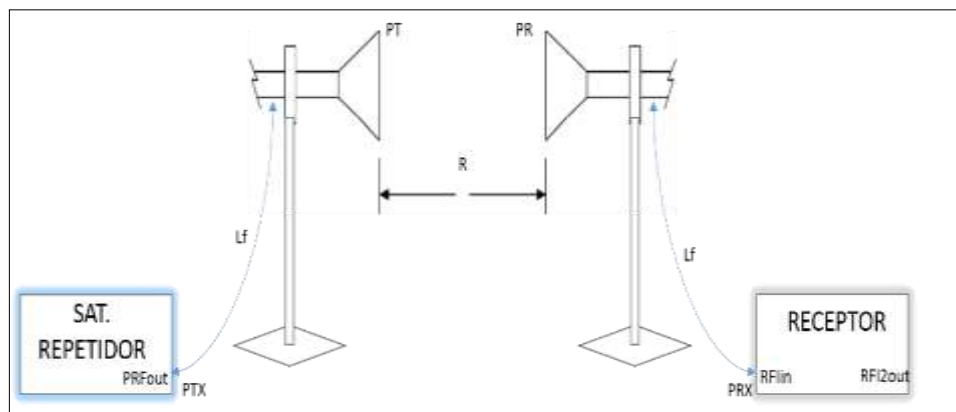


Figura 3-3. Enlace descendente con antenas de bocina de gran apertura

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 9-3. Ganancia de antena de bocina de gran apertura, en frecuencia de bajada.

Canal	A	B	C	D	E	F	Unid.
Frecuencia (f_{down})	8.7	8.8	8.9	9	9.1	9.2	GHz
Distancia (R)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	mts
Perdida de Cable (L_f)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.1	dB
Potencia medida transmitida (P_{TX})	-11.65	--11.8	-13.9	-14.98	-16.4	-17.1	dBm
Potencia transmitida (P_T)	-13.75	--13.9	-16.0	-17.08	-18.5	-19.2	dBm
Potencia medida recibida ($P_{FI 2 out}$)	-10.11	-12.12	-13.75	-13.63	-16.08	-15.73	dBm
Ganancia del convertidor ($G_{DC 2}$)	29.82	29.82	29.82	29.82	29.82	29.82	dB
Potencia recibida (P_R)	-39.93	-39.84	-41.47	-41.35	-43.8	-43.45	dBm
Ganancia de antena (G_{ant})	16.5	16.68	16.96	16.91	17.14	17.3	dBi

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.5 Ganancia teórica

Dada la Ecuación 3-3, se calculó la ganancia teórica de las antenas de bocina para cada una de las frecuencias de bajada como se observa en la Tabla 10-3 y Tabla 11-3, para posterior realizar una comparativa con la ganancia calculada usando la siguiente información.

Antena de gran apertura:

A= 9.1 cm

B= 7.4 cm

Antena de apertura pequeña:

A= 4.6 cm

B= 4.6

$L_E = -0.85$ dB

$L_H = -0.88$ dB

$$G_{ant [dBi]} = 10.08 + 10 \log \left(\frac{AB}{\lambda^2} \right) + L_{E[dB]} + L_{H[dB]} \quad \text{Ecuación. 3-3}$$

Tabla 10-3. Ganancia de antena de bocina de larga apertura teórica

Canal	A	B	C	D	E	F	Unid.
Frecuencia (f)	8.7	8.8	8.9	9	9.1	9.2	GHz
Longitud de onda (λ)	3.45	3.41	3.37	3.33	3.30	3.26	cm
Ganancia de la antena (G_{ant})	15.87	15.97	16.08	16.18	16.26	16.37	dBi

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 11-3. Ganancia de antena de bocina de apertura pequeña teórica

Canal	A	B	C	D	E	F	Unid.
Frecuencia (f)	8.7	8.8	8.9	9	9.1	9.2	GHz
Longitud de onda (λ)	3.45	3.41	3.37	3.33	3.30	3.26	Cm
Ganancia de la antena (G_{ant})	10.85	10.95	11.05	11.15	11.23	11.34	dBi

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

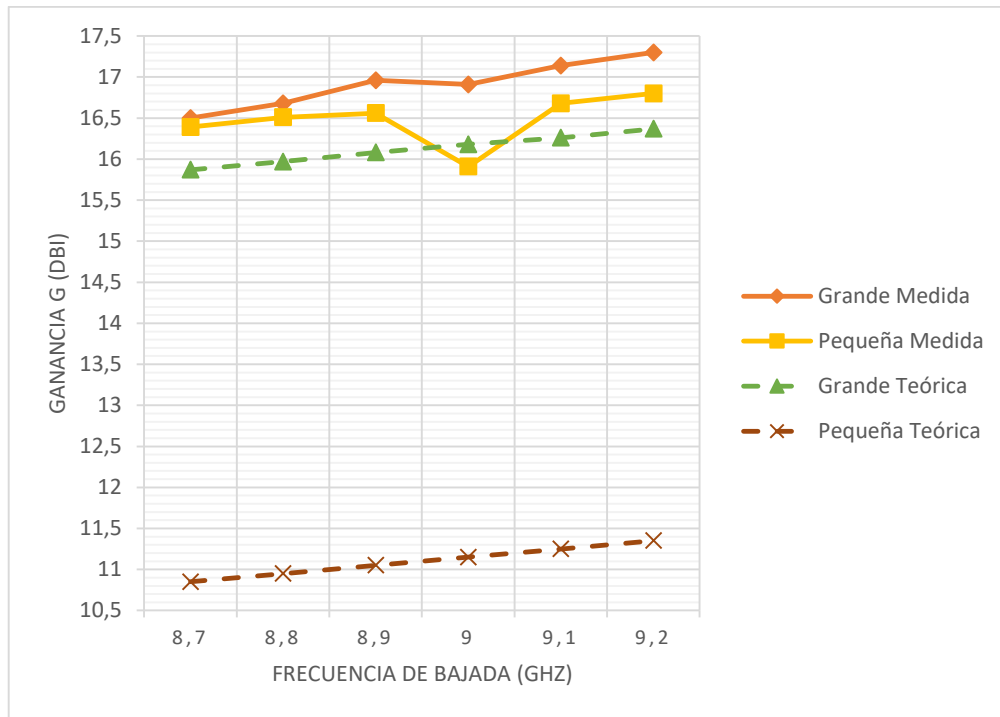


Gráfico 1-3. Ganancia de antenas de bocina de pequeña y gran apertura vs frecuencia.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.6 Apertura efectiva y eficiencia de antena

La apertura efectiva y eficiencia de las antenas de apertura grande y pequeña se evaluaron a partir de la Ecuación 4-3 y Ecuación 5-3, la cual establece el área efectiva de la antena y la relación entre potencias radiadas y recibidas, sabiendo que a mayor apertura efectiva mayor será la potencia recibida en relación a la enviada por el transmisor.

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad \text{Ecuación. 4-3.}$$

$$\eta = \frac{A_e}{A_B} \quad \text{Ecuación. 5-3.}$$

Para el canal D antena de bocina de gran apertura.

$$A_e = \frac{10^{\frac{16,91}{10}} * 3,33^2}{4\pi}$$

$$A_e = 43.32\text{cm}^2$$

$$\eta = \frac{43.32}{9.1 * 7.3} = 0.64$$

Para el canal D antena de bocina de pequeña apertura.

$$A_e = \frac{10^{\frac{15.61}{10}} * 3.33^2}{4\pi}$$

$$A_e = 32.11\text{cm}^2$$

$$\eta = \frac{32,11}{4,6 * 4,6} = 1.51$$

3.1.7 Ancho del haz y patrón de radiación

Para la determinación del ancho del haz y el patrón de radiación de las antenas de bocina se utilizó un indicador acimut, colocándolo en el mástil de una de las antenas del repetidor como de observa en la Figura 4-3.

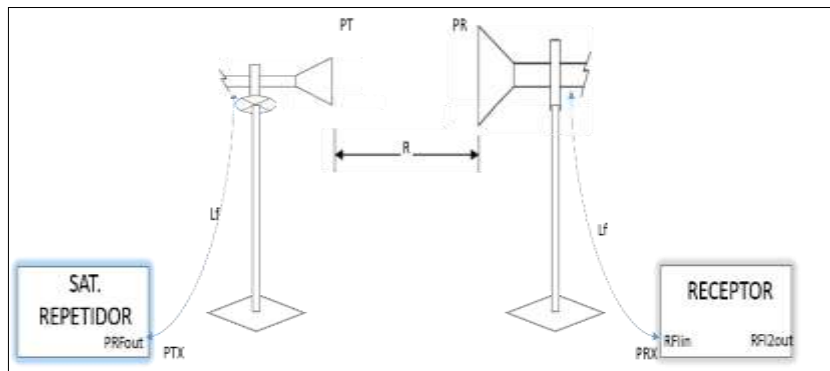


Figura 4-3. Enlace descendente con antenas de bocina de gran apertura
Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se procedió a alinear las demás antenas para obtener una máximo de potencia en el receptor y se midió la potencia y ángulo en la salida FI 1 del receptor de manera que disminuya 3 dB en relación con el eje principal en 0° del indicador acimut como se observa en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3 Ancho de banda a 3 dB.

Parámetro	Valor
Ángulo a 3dB (sentido horario)	20°
Ángulo a 3 dB (sentido horario)	20°
Ancho de Banda a 3 dB	40°

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se evaluó el nivel de potencia a cada 10 grados y se calculó la potencia normalizada como se observa en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3. Datos de patrón de radiación de antena.

Acimut de antena [°]	Potencia Recibida [dBm]	Potencia normalizada [dB]	Acimut de antena[°]	Potencia Recibida [dBm]	Potencia normalizada [dB]
0	-22.87	0	180	-30.59	-7.72
10	-24.34	-1.49	190	-30.77	-7.9
20	-25.90	-3.03	200	-31.47	-8.6
30	-28.192	-5.32	210	-35.49	-12.62
40	-31.51	-8.64	220	-44.94	-22.07
50	-35.71	-12.84	230	-51.76	-28.89
60	-40.08	-17.21	240	-49.66	-26.79
70	-50.23	-27.36	250	-47.041	-24.17
80	-49.25	-26.38	260	-62.86	-39.99
90	-48.0	-25.13	270	-51.19	-28.32
100	-48.75	-25.88	280	-52.07	-29.2
110	-49.5	-26.63	290	-50.67	-27.8
120	-50.62	-27.75	300	-58.64	-35.77
130	-46.0	-23.13	310	-40.39	-17.52
140	-43.77	-20.9	320	-32.67	-9.8
150	-36.72	-13.85	330	-26.79	-3.92
160	-33.22	-9.35	340	-23.49	-0.62
170	-31.47	-8.6	350	-23.30	-0.43

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.8 Pérdidas, potencia radiada y recibida

3.1.8.1 Pérdidas en el espacio libre

En esta sección se configuro el sistema para medir las pérdidas en el espacio libre a diferentes distancias y frecuencias determinando así la proporcionalidad que existe entre las pérdidas y el cuadrado del rango de medición, para aquello se utilizó la ecuación de Friss, Ecuación 6-3, determinando cada uno de los valores y posterior evaluándolos.

$$L_{FS} = PIRE_{[dBm]} - P_{RX}[dBm] + G_{R}[dB] - L_{FRX}[dB] \quad \text{Ecuación. 6-3}$$

3.1.8.2 Potencia isotrópica radiada efectiva

Este procedimiento determino los cálculos evaluando los parámetros en la Ecuación 7-3, considerando al satélite repetidor como transmisor tal como se observa en la Figura -3, ubicando las antenas de apertura pequeña a rangos de distancia entre (2 – 0.5) metros y obteniendo las mediciones a través del analizador de espectros del instrumento virtual, tomando en consideración las perdidas en cables y atenuaciones como se observa en la Tabla 14-3.

$$PIRE_{[dBm]} = P_{TX} + G_T - L_{\theta r} - L_{FTX} \quad \text{Ecuación. 7-3}$$

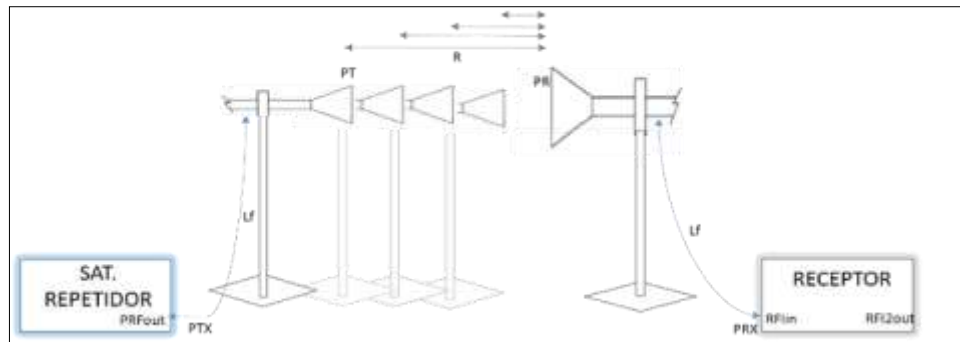


Figura 5-3. Enlace descendente con antenas a diferentes distancias.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Tabla 14-3. Datos de patrón de radiación de antena.

Canal	B	D	F	Unid.
FRECUENCIA (f_{DOWN})	8.8	9.0	9.2	GHz
POTENCIA RADIADA (P_T)	-12.97	-15.86	-15.67	dBm
POTENCIA TRANSMITIDA (P_{TX})	-8.77	-11.66	-11.47	dBm
GANANCIA ANTENA TX (G_{ANTTX})	17.0	17.61	17.71	dBi
PERDIDA DE CABLE L_{FTX}	4.2	4.2	4.2	dB
PIRE	4.0	1.7	2.0	dBm

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.8.3 Potencia de entrada del receptor.

Cambiando la distancia de ubicación de la antena transmisora del satélite repetidor y los canales de frecuencia para todo el sistema, se obtuvo los valores de nivel de potencia como se indica en Tabla 15-3.

Tabla 15-3. Potencia en receptor RF input

Canal	B	D	F
Rango R [m]	Potencia de entrada del receptor $P_{RX} = P_{IF2 OUT} - G_{DC2}$ [dBm]		
0.5	-29.72	-33.12	-34.12
1.0	-35.42	-38.62	-40.72
1.5	-39.52	-43.32	-44.22
2.0	-42.12	-45.22	-46.02

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

La Tabla 16-3, muestra las pérdidas por el espacio libre para cada rango y cada canal suponiendo que las antenas están correctamente polarizadas, y que la atenuación atmosférica es insignificante debido a la distancia del enlace.

Tabla 16-3. Pérdidas en el espacio libre medidas

Canal	B	D	F	
Frecuencia f_{Down} [GHz]	8.8	9	9.2	
Rango R [m]	Pérdida en espacio libre L_{FS}			Rango al cuadrado (R^2)
0.5	48.62	50.33	51.73	0.25
1.0	54.32	55.88	58.33	1
1.5	58.42	60.53	61.83	2.25
2.0	61.02	62.43	63.63	4

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

La Tabla 17-3, muestra el valor teórico de las pérdidas en el espacio libre evaluando los parámetros en la Ecuación 8-3, posterior se analizó mediante el Gráfico 2-3, las pérdidas en el espacio libre medidas y calculas.

$$L_{\text{FS}} = \left(\frac{4\pi Rf}{c}\right)^2$$

Ecuación. 8-3.

Tabla 17-3. Valor teórico de pérdidas en el espacio libre

Canal	B	D	F	
Frecuencia f_{Down} [GHz]	8.8	9	9.2	
Rango R [m]	Pérdida en espacio libre L_{FS}			Rango al cuadrado (R^2)
0.5	45.31	45.50	45.69	0.25
1.0	51.33	51.52	51.71	1
1.5	54.85	55.04	55.23	2.25
2.0	57.35	57.54	57.73	4

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

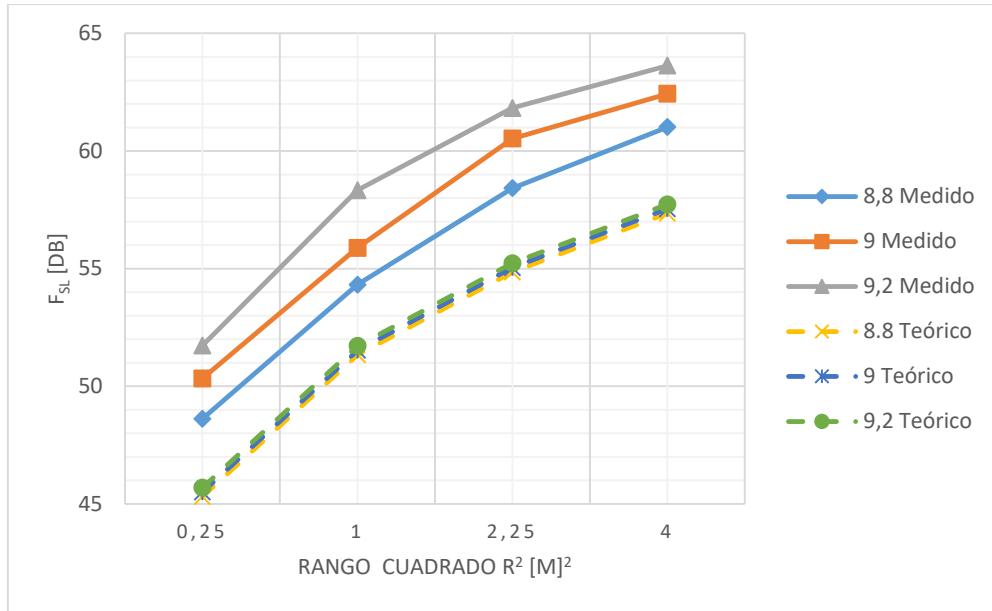


Gráfico 2-3. Pérdidas en el espacio libre.

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.9 Figura de ruido

3.1.9.1 Potencia de la portadora recibida y ganancia de la interfaz de RF.

Para llevar a cabo este procedimiento se empezó a realizar la medición de la potencia de la portadora recibida y calcular la ganancia máxima dada la Ecuación 9-3, de la interfaz de RF que consiste en el convertidor de nivel descendente 1 y 2 como se muestra en la Tabla 18-3.

$$G_{RX} = C_0 - C_i \quad \text{Ecuación. 9-3}$$

Tabla 18-3. Ganancia máxima de interfaz del receptor RF.

C _i [dBm]	C ₀ [dBm]	G _{RX} [dB]
-45.49	0.41	45.90

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

Se redujo la potencia a un nivel de -20 dBm reduciendo el control de ganancia del receptor, siendo este el valor de ingreso al preamplificador que posterior conectamos a la salida de la interfaz de RF, con la intención de medir el nivel de potencia en la salida del preamplificador y calcular la ganancia del mismo aplicando el principio similar a de la ganancia del receptor como se muestra en la Tabla 19-3.

Tabla 19-3. Cálculo de ganancia de preamplificador

P _{IN} [dBm]	P _{OUT} [dBm]	G _{PRE} [dB]
-20	0.91	20.91

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.9.2 Potencia de ruido de salida del receptor

A su vez se realizó el cálculo de la potencia de ruido en la salida del sistema, en la cual conlleva a medir el ruido en la salida del preamplificador a un nivel de ganancia máxima del receptor, considerando una carga fantasma compatible de 50 Ω en la entrada de radio frecuencia para evitar la recepción de emisiones indeseables de radiación electromagnética.

Se prosiguió analizando parámetros de ancho de banda de visualización en el analizador de espectro y evaluando los parámetros calculados en la Ecuación 10-3 y Ecuación 11-3, como se observa en la Tabla 20-3.

$$N_{RBW} = N_{PRE} - G_{PRE} \quad \text{Ecuación 10-3}$$

$$N_{00} = N_{RBW} + 10 \log\left(\frac{1}{RBW}\right) \quad \text{Ecuación 11-3}$$

Tabla 20-3. Potencia de ruido de salida del receptor

Potencia de ruido salida de preamplificador N _{PRE}	-48.5	dBm
Ganancia Preamplificador G _{PRE}	20.91	dB
Ancho de banda de resolución a 5 MHz /div de spam. RBW	303	KHz
Potencia de ruido de salida del receptor N _{RBW}	-69.41	dBm
Densidad espectral de potencia de ruido salida del receptor N ₀₀	-124.22	dBm/Hz

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.1.10 Figura de ruido del receptor y la temperatura efectiva del ruido de entrada

Considerando que el sistema receptor satelital puede procesar señales muy débiles en presencia de situaciones indeseables de ruido, se procedió a calcular la figura de ruido como parámetro importante que caracteriza la capacidad del sistema para procesar las señales y obtener la relación señal a ruido a medida que la señal pasa a través de una red.

Dada la Ecuación 12-3, se calculó la figura de ruido en el receptor asumiendo por estandarización que la densidad de potencia espectral de ruido a la entrada del sistema es de -174 dBm/Hz.

$$NF_{RX} = N_{0o} - N_{0i} - G_{RX} \quad \text{Ecuación 12-3}$$

$$NF_{RX} = -124.22 + 174 - 45.90 = 2.67\text{dB}$$

De manera semejante se obtuvo el factor de ruido, valor adimensional de la figura de ruido con el cual se calculó la temperatura equivalente de ruido en la entrada del receptor mediante la Ecuación 13-3.

$$T_{eRX} = (F_{RX} - 1)T_0 \quad \text{Ecuación 13-3}$$

$$T_{eRX} = (1.84 - 1)290\text{K} = 243.6 \text{ K}$$

3.1.11 Temperatura de ruido del sistema

Se desconectó la carga fantasma y se procedió a conectar la antena comprobando así que el nivel de ruido en la salida FI no cambia y por consiguiente se asume que la temperatura de ruido en la entrada del sistema es la misma al final del mismo, de modo que en la Ecuación 14-3, se evaluaron los valores antes calculados y se obtuvo la temperatura total de ruido del sistema.

$$T = \frac{T_A}{L_f} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_f}\right) + T_{eRX} \quad \text{Ecuación 14-3}$$

$$T = 533.6\text{K}$$

3.2 Parámetros de medición en el sistema didáctico de telefonía

3.2.1 Tensión Umbral de línea de transmisión.

Se procedió a evaluar la tensión umbral con la que el timbre telefónico se activa a través del aumento de la resistencia en la línea de transmisión como se muestra en la Tabla. 21-3.

Tabla 21-3. Voltaje umbral y voltajes en la línea de transmisión.

Resistencia de línea de transmisión. (Ω)	Voltaje de línea. (v)
600	-61.6
625	-60
650	-60
675	-60
875	-60

900	-60
1000	-60
1500	-56.8
1700	-56.8
1800	-56.8
2000	-56.8
6700	-46.4
10000	-40.8 (tensión umbral)
20000	-32

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

El voltaje umbral resaltado en la tabla es el mínimo voltaje que debe ser transmitido en la línea del abonado por la central telefónica para que el teléfono del abonado timbre, a su vez es utilizado para comparar dicho voltaje con niveles de tensión indeseados en la línea y evitar activaciones erróneas de timbre.

3.2.2 Componentes de frecuencia de tonos de marcado.

Se obtuvo la frecuencia y nivel de potencia transmitida en cada tecla de marcado con el método de marcación por tonos como se muestra en la tabla 22-3.

Tabla 22-3. Frecuencia y nivel de potencia de señal DTMF.

Tecla	Componente de frecuencia 1 (Hz)	Componente de frecuencia 2 (Hz)	Nivel de voltaje frecuencia 1 (dBv)	Nivel de voltaje frecuencia 2 (dBv)
1	700	1207	-12.85	-9.47
2	700	1340	-12.85	-10.65
3	700	1480	-12.98	-10.28
4	773	1207	-12.39	-9.45
5	773	1340	-12.37	-10.63
6	773	1480	-12.01	-10.04
7	853	1207	-11.83	-9.46
8	853	1340	-11.76	-10.64
9	853	1480	-11.53	-10.25
*	940	1207	-11.39	-9.44
0	940	1340	-11.10	-10.59
#	940	1480	-10.67	-10.23

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.2.3 Pulsos de marcación.

En vista de que el proceso de marcación por pulsos consiste en interrumpir la corriente circulada por la línea del abonado por intervalos de tiempo se obtuvo el periodo de pulso de marcación, la duración de las interrupciones de corriente y la duración de los impulsos de corriente como se observa en la Tabla 23-3.

Tabla 23-3. Parámetros en pulsos de marcación.

Tecla	Periodo de pulso (ms)	Interrupción de corriente de línea. (ms)	Número de interrupciones de corriente de línea
1	-	60	1
2	100	60	2
3	100	60	3
4	100	60	4
5	100	60	5
6	100	60	6
7	100	60	7
8	100	60	8
9	100	60	9
0	100	60	10

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

3.2.4 Frecuencias e intervalos de modulación

Se comparó los niveles de frecuencia de los tonos de progreso de llamada básicos utilizados en una central telefónica utilizada en Norteamérica, Japón con los tonos de progreso de llamada utilizados en Reino Unido y el resto del mundo como se observa en la Tabla 24-3.

Tabla 24-3. Intervalo de modulación y frecuencias de componentes espectrales.

Tono de progreso de llamada	Intervalos de Modulación		Frecuencia de los componentes espectrales (Hz)
	Encendido (s)	Apagado (s)	
Norte América y Japón			
Invitación a marcar	Continuo	-	350 - 440
Timbre	2	3	440 - 480
Ocupado	0.5	0.5	480 - 620
Receptor colgado	0.1	0.1	1400-2060-2450-2600
Reino Unido y demás países.			
Invitación a marcar	Continuo	-	350-440
Timbre	0.4	0.2 - 2	440 - 480
Ocupado	0.5	0.5	480 - 620
Receptor colgado	0.1	0.1	1400-2060-2450-2600

Realizado por: (Denny Posligua, 2018)

CONCLUSIONES

El sistema entrenador de comunicaciones satelitales y el sistema didáctico de telefonía resultan ser equipos garantizados para el estudio y conocimiento de las diferentes técnicas utilizadas en el procesamiento de las señales a transmitir y recibir utilizadas tanto en las comunicaciones por satélite y la telefonía analógica y digital.

Conforme al análisis de cada bloque de la arquitectura del sistema satelital mediante el desarrollo de tareas adjuntas, se logró determinar el correcto funcionamiento del equipo para la realización de guías de prácticas de laboratorio para la cátedra de comunicaciones satelitales, así mismo se logró determinar que el alcance de explotación hacia otros sistemas de comunicación no es concebible con el equipo en mención, debido a la rigidez de su arquitectura.

Realizando una comparativa entre los parámetros, respuestas deseadas de los sistemas instructores y los valores de parámetros calculados y observaciones obtenidas en las etapas de desarrollo para la puesta en marcha de los equipos en el laboratorio de comunicaciones, se concluyó debido a la proximidad en sus resultados que existe una alta efectividad en la operación de los equipos instructores.

En base al desarrollo de las tareas realizadas de trasmisión de audio, se logró comprobar el respectivo funcionamiento del equipo de comunicación satelital, demostrando así su operación en situaciones reales

Utilizando el sistema didáctico de telefonía, se consiguió realizar el análisis del 60 % de su arquitectura y operación debido a falta de hardware propio del sistema para el desarrollo de las tareas adjuntas en los manuales de operación, no obstante se desarrolló las guías de prácticas de laboratorio de las prácticas disponibles con los dispositivos en existencia, para la cátedra de telefonía digital y analógica.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda que para el uso correcto y evitar daños de los equipos de comunicación satelital y telefonía implementados en el laboratorio de comunicaciones, la utilización de los manuales de operación o las guías de prácticas generadas bajo este trabajo de titulación.

Para una comparación precisa en resultados y obtener el máximo rendimiento del equipo de instrucción satelital se recomienda que exista una distancia óptima entre las antenas de transmisión y recepción y cuerpos reflectantes existentes cerca de los equipos como paredes y demás equipos del laboratorio.

En el desarrollo de las guías de prácticas de la catedra de telefonía analógica y digital, es recomendable utilizar un equipo de alto rendimiento de procesamiento de datos, para que el provecho del software LVTTS se desarrolle en plenitud y se logre determinar los objetivos planteados en las prácticas.

Para comprobar el rendimiento al máximo y realizar un análisis del funcionamiento de toda la arquitectura de un sistema analógico y digital en telefonía en plenitud por parte de los estudiantes de la catedra, sería recomendable la adquisición de todo hardware necesario del sistema didáctico de telefonía complementario.

Luego de la utilización de los equipos tanto satelital como telefónico, es recomendable realizar la desconexión total de cada componente utilizado, evitando así el daño a partir de descargas eléctricas que puedan perjudicar a los sistemas.

BIBLIOGRAFIA

CAMPANARIO, Felardo Luis. " *Instalaciones de telefonía y comunicación interior (MF0121_2)*". IC Editorial, Malaga, España 2012. ProQuest Ebook Central [14 Octubre 2018], Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/esochsp/detail.action?docID=3211388>.

COUCH, Leon W., " *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*". séptima. Gainesville: s.n. 2008. ISBN 9789702612162.

CULQUI, Alexandra Nataly, " *Diseño de un sistema de telefonía IP basado en software libre e integración con la red de datos; como alternativa de comunicación de voz sobre el protocolo IP entre dependencias del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra*". [En línea]. (tesis) (pregrado): Universidad Técnica del Norte. 2013. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1778>.

FERNÁNDEZ, Marcos, *Modulaciones Angulares*. [En línea]. Valladolid, España: Disponible en: <http://www.lpi.tel.uva.es/~marcma/tts/pdfs/tema4.pdf>.

FESTO DIDACTIC, " *Características y rendimiento del enlace*". 1ra. Quebec, Canada:2014b. ISBN 9782896404193.

FESTO DIDACTIC, " *Orbitas satelitales, cobertura y alineación de antenas*". 1ra. Quebec, Canada: 2014c. ISBN 9782896404735.

FESTO DIDACTIC, " *Principios de los sistemas de comunicaciones por satélite*". 1ra. Quebec, Canada: 2014a. ISBN 9782896404179.

GODOY, Sebastian, " *Comunicaciones Satelitales*". [En línea]. 3ra. Concepción, CHILE: Universidad de Concepción. 2010. Disponible en: http://www2.udec.cl/~segodoy/teaching/Apuntes_ComDig_3raEd.pdf.

HAYKIN, Simon, " *Sistemas de comunicación*" [En línea]. 1ra. MEXICO D.F.: Limusa Wiley. 2002. Disponible en: <https://vdocuments.mx/sistemas-de-comunicaciones-simon-haykin-en-espanol.html>.

HERNÁNDEZ, Javier, " *Sistemas de comunicación por satélite-utilización en los sistemas de navegación aeronáuticos*". [En línea].(Tesis) (Pregrado): Universidad Politécnica de Madrid. 2000.

Disponible en: <http://oa.upm.es/40769/>.

HUIDROBO, José Manuel y CONESA, Rafael, *"Sistemas de telefonía"*. 3ra. Madrid, España: Parainfo. S. A. 2001.

ITU, Union Internacional de Telecomunicaciones. *"Manual de comunicaciones por satélite (HSC)"*. [En línea]. 3ra: John Wiley & Sons, Inc. 2002. Disponible en: <https://www.wiley.com/en-us/Handbook+on+Satellite+Communications%2C+3rd+Edition-p-9780471221890>.

JOSKOWICZ, José, *"Conceptos basicos de telefonia"*. [En línea]. Montevideo, Uruguay: Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería Universidad de la República. 2015. Disponible en: [iee.fing.edu.uy/.../Conceptos Basicos de Telefonía.pdf](http://iee.fing.edu.uy/.../Conceptos%20Basicos%20de%20Telefonia.pdf).

LOJA, Manuel German, *"Moduladores digitales de banda ancha"*. [En línea].(Tesis) (pregrado): Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador 2007. Disponible en: [http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/5989/1/MODULADORES DIGITALES DE BANDA ANCHA.pdf](http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/5989/1/MODULADORES_DIGITALES_DE_BANDA_ANCHA.pdf).

PALLÁS, Ramón, *"Adquisición y distribución de señales"*. Marcombo [En línea]. Barcelona, España, 1993: pp. 86-126. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/324422523/ADQUISICION-Y-DISTRIBUCION-DE-SENALES-RAMON-PALLAS-ARENY-pdf>.

PÉREZ, Constatino A., *"Sistemas de Telecomunicacion"*. [En línea]. Santander, España: Universidad de Cantabria. 2007. Disponible en: <http://www.editorial.unican.es/libro/sistemas-de-telecomunicacion>.

PERNA, Anibal, *"Modulación y demodulación en frecuencia"* [En línea] (tesis) (pregrado): Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia. 2010. Disponible en: <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0062312.pdf>.

PROCHNOW, Silvano Lucas, *"Miniaturización de satélite"*. [En línea]. Santa Maria, Brasil, 2006.: Disponible en: [http://mtc-m16.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/mtc-m16@80/2006/08.15.13.13/doc/Silvano Lucas Prochnow.pdf](http://mtc-m16.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/mtc-m16@80/2006/08.15.13.13/doc/Silvano%20Lucas%20Prochnow.pdf).

ROMERO, Francisco Sacristán, *"Retrospectiva histórica de los satélites de comunicación"*. RA XIMHAI [En línea], 2006. vol. 2, pp. 243-267. Disponible en:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjDsMDU-r7eAhVtzlkKHR9dBLQQFjAJegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ejournal.unam.mx%2Frxm%2Fvol02-01%2FRXM002000113.pdf&usg=AOvVaw3Kt0CvjmeVpCrXKBA5GgHA>

ROSADO, Carlos, *"Comunicación por satélite"*. Mexico DF, Mexico: AHCJET. 2000. ISBN 8487644422.

TOMASI, Wayne. *"Sistemas de Comunicaciones Electrónicas"*. [En línea]. 4ta. Mexico DF, Mexico: Pearson Education. 2003. ISBN 9702603161. Disponible en: <https://hellsingge.files.wordpress.com/2014/08/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicic3b3n.pdf>.