

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE RECEPCIÓN DE SEÑAL ABIERTA DE  
TELEVISIÓN PARA INSERTAR LOS CANALES  
DIGITALES COSTARRICENSES EN LA  
PROGRAMACIÓN DE UNA OPERADORA DTH A  
DESARROLLAR EN IDETEL DURANTE EL II  
CUATRIMESTRE DEL AÑO 2020.**

**Sustentante:**

**David Solís Chavarría.**

**Tutor:**

**Ing. José Alejandro Rojas López**

**Diciembre, 2020**

# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACION JURADA

Yo David Solís Chavarria, mayor de edad portador de la cedula de identidad número 1-1075-0087 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibido y entiendo de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RECEPCION DE SEÑAL ABIERTA DE TELEVISION PARA INSERTAR LOS CANALES DIGITALES COSTARRICENSES EN LA PROGRAMACION DE UNA OPERADORA DTH A DESARROLLAR EN IDETEL DURANTE EL II CUATRIMESTRE DEL AÑO 2020, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la ley de derechos de autor y derecho conexo, numero 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicado en La Gaceta numero 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; articulo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en el perjuicio del autor de la obra original.

Así mismo quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José a los 29 días del mes de Noviembre del año dos mil veinte.



Firma del Estudiante

110750087

Cedula

## CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



Escazú, 7 de diciembre de 2020.

Señores  
Universidad Hispanoamericana

Presente

Estimados Señores:

Por este medio hago constar que el señor David Solís Chavarria, documento de identidad número 1-1075-0087, cuenta con la debida autorización de la empresa IDETEL, para efectuar y desarrollar su proyecto de graduación en nuestra empresa.

El nombre del proyecto a desarrollar por el señor Solís Chavarria es: Diseño e implementación de un sistema de recepción de señal abierta de televisión para insertar los canales digitales costarricenses en la programación de una operadora DTH a desarrollarse en IDETEL durante el II cuatrimestre del año 2020.

Quedo a sus órdenes para cualquier consulta.

Atentamente,

  
Uc. Sandra Laesyo Valdivia

Gerente General IDETEL.



## CARTA DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 24 enero de 2021

Señores:

Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) **David Solís Chavarria** con número de identificación **1-1075-0087** autor (a) del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RECEPCION DE SEÑAL ABIERTA DE TELEVISION PARA INSERTAR LOS CANALES DIGITALES COSTARRICENSES EN LA PROGRAMACION DE UNA OPERADORA DTH A DESARROLLARSE EN IDETEL DURANTE EL II CUATRIMESTRE DEL AÑO 2020**, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de **Bachiller en la carrera de Ingeniería Electrónica**; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



---

David Solís Chavarria.  
Cedula. 1-1075-0087.

# CARTA DEL TUTOR



San José, 27 de noviembre del 2020

## CARTA DEL TUTOR

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante **David Solís Chavarría**, cédula de identidad número **1-1075-0087**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Diseño e implementación de un sistema de recepción de señal abierta de televisión para insertar los canales digitales costarricenses en la programación de una operadora DTH a desarrollar en IDETEL durante el II cuatrimestre del año 2020."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

**Tabla 1** Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	17
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	17
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
	<b>Total:</b>	<b>100</b>	<b>90</b>

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Jose Alejandro Rojas López  
Cédula de identidad: 1 1079 0035  
Carné Colegial Profesional: N° IEL-15888

## CARTA DEL LECTOR



### CARTA DEL LECTOR

San José, 18 de enero del 2021

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante David Solís Chavarría, cédula de identidad número 1-1075-0087, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado *"Diseño e implementación de un sistema de recepción de señal abierta de televisión para insertar los canales digitales costarricenses en la programación de una operadora DTH a desarrollar en IDETEL durante el II cuatrimestre del año 2020"*, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JORGE VILLALOBOS Firmado digitalmente por JORGE VILLALOBOS CASCANTE (FIRMA) fecha: 2021.01.18 14:36:19 -0500'  
CASCANTE (FIRMA)

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.  
Cédula de identidad: 1-1185-0467  
Carné colegio profesional: IEL-22656

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN JURADA</b> .....	II
<b>CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	III
<b>CARTA DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA</b> .....	IV
<b>CARTA DEL TUTOR</b> .....	V
<b>CARTA DEL LECTOR</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	XII
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	XIII
<b>ABREVIATURAS</b> .....	XIV
<b>DEDICATORIA</b> .....	XVI
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	XVII
<b>RESUMEN</b> .....	XVIII
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>PROBLEMA DEL PROYECTO</b> .....	1
<b>1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	2
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.....	2
1.1.2 Justificación del problema.....	3
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
<b>1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES</b> .....	10
1.4.1 Alcance.....	10
1.4.2 Limitaciones.....	11
<b>CAPÍTULO II</b> .....	13
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1 SERVICIOS DE TELEVISIÓN</b> .....	14
2.1.1 Servicios señal abierta.....	14
2.1.2 Servicios por suscripción.....	15
<b>2.2 TRATAMIENTO DE LA SEÑAL DE TV DESDE LA FUENTE HASTA EL         CLIENTE DTH</b> .....	16

2.2.1 Señales de televisión .....	16
2.2.2 Digitalización de la señal.....	17
2.2.3 Compresión de la señal .....	19
2.2.4 M-PEG. ....	20
2.2.5 Flujo de transporte .....	21
2.2.6 Estándares para la transmisión de señales de televisión digital por ondas de radio.....	22
2.2.7 ISDB-Tb .....	23
2.2.8 Modulación 64QAM.....	24
2.2.9 Modulación COFDM.....	25
2.2.10 Recepción de la señal de acceso libre.....	26
2.2.11 Detección y corrección de errores.....	27
2.2.12 Servicio MPLS.....	29
2.2.13 Sistema de cabecera de televisión.....	30
2.2.14 Servicio DTH.....	30
<b>2.3 CONTEXTO TEÓRICO.....</b>	<b>32</b>
2.3.1 Antena.....	32
2.3.2 Línea de transmisión.....	34
2.3.3 Distribuidores de la señal.....	34
2.3.4 Sintonizador .....	35
2.3.5 Etapas de amplificación.....	35
2.3.6 Demodulador .....	36
2.3.7 Demultiplexor .....	36
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>38</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>39</b>
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	39
3.1.2 Finalidad de la investigación.....	40
3.1.3 Dimensión temporal.....	40
3.1.4 Marco de la investigación .....	41
3.1.5 Naturaleza de la investigación.....	42
<b>3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>43</b>
3.2.1 Fuentes primarias .....	43
3.2.2 Fuentes secundarias .....	43

3.2.3	Sujetos de información .....	44
<b>3.3</b>	<b>TÉCNICAS Y HERRAMINETAS .....</b>	<b>45</b>
3.3.1	Observación.....	45
3.3.2	Entrevista.....	46
3.3.3	Análisis de contenido.....	46
<b>3.4</b>	<b>VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>3.5</b>	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>51</b>
<b>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>		<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Observación.....	54
4.2.2	Entrevista.....	56
<b>4.3</b>	<b>DESARROJO DEL PROYECTO.....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>.....</b>	<b>61</b>
<b>DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>		<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>ASPECTOS DE DISEÑO .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>63</b>
5.2.1	Recepción y distribución.....	64
5.2.2	Tratamiento de la señal.....	80
5.2.3	Transmisión de la señal .....	85
<b>5.3</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>86</b>
5.3.1	Revisión de la antena y línea de Transmisión.....	88
5.3.2	Configuraciones del sistema .....	93
<b>5.4</b>	<b>CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>98</b>
<b>5.5</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>.....</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>109</b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>115</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>117</b>
<b>ANEXO.....</b>		<b>118</b>
Lista de anexos .....		119

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama de Causa Efecto. ....	5
Figura 2. Muestreo de señal analógica.....	17
Figura 3. Cuantificación de la señal.....	18
Figura 4. Codificación de las muestras.....	19
Figura 5. Constelacion de 64QAM.....	24
Figura 6. Componente espectral de las portadoras moduladas COFDM. ....	25
Figura 7. Modulacion y demodulación señal de TV.....	26
Figura 8. Constelacion 64QAM sin interferencia Vrs Interferida. ....	28
Figura 9. Diagrama de bloques sistema actual.....	53
Figura 10. Diagrama de Bloques de Propuesta del proyecto .....	59
Figura 11. Diseño propuesto. ....	63
Figura 12. Logaritmo de una frecuencia. ....	66
Figura 13. Dimensiones de antena LAPD. ....	77
Figura 14. Antena CL-1469 .....	77
Figura 15. Cable coaxial.....	79
Figura 16. Divisor Coaxial.....	79
Figura 17. Tarjeta demoduladora ISDB Tb.....	82
Figura 18. Chasis DVEO. ....	84
Figura 19. Switch CISCO ME 3400. ....	85
Figura 20. Lugar de colocación DVEO. ....	87
Figura 21. Puntos de medición del sistema radiante.....	88
Figura 22. Mediciones en sitio.....	89
Figura 23. Comparación señal canal 29 y señal canal 7. ....	90
Figura 24. Comparación de niveles de señal entre canal 13 y canal 6.....	91
Figura 25. Niveles de señal de canal 13 usando el preamplificador.....	92
Figura 26. Instalación de preamplificador.....	92
Figura 27. Configuración de gestión.....	93
Figura 28. Configuración puerto de datos .....	94
Figura 29. Pantalla input setup.....	95
Figura 30. Pantalla new output.....	95
Figura 31. Configuración canal 4 y 6.....	96
Figura 32. Configuración canal 6.....	97

Figura 33. Pantalla configuración canales compartidos. ....	98
Figura 34. Antena logarítmica periódica instalada en torre. ....	99
Figura 35. Divisor de señal.....	100
Figura 36. Vista trasera de chasis DVEO, Gearbox II. ....	101
Figura 37 Vista general del armario y el sistema digital montado.....	102
Figura 38. Cables UTP de datos y gestión. ....	103

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Estándares de Televisión digital. ....	22
Tabla 2. Atribución de las frecuencias de Televisión. ....	33
Tabla 3. Sujetos de la información. ....	44
Tabla 4. Variables de la Investigación. ....	48
Tabla 5. Diseño de la investigación. ....	50
Tabla 6. Comparación de antenas. ....	65
Tabla 7. Referencia de ganancia para diseño de una LPDA. ....	67
Tabla 8. Medidas de dipolos sucesivos. ....	74
Tabla 9. Distancia entre dipolos sucesivos. ....	75
Tabla 10. Comparación de tarjetas demoduladoras. ....	80
Tabla 11. Canales configurados en el sistema. ....	104
Tabla 12. Análisis de costos de los materiales y equipos. ....	105
Tabla 13. Análisis de costo de mano de obra. ....	106
Tabla 14. Costo total del proyecto. ....	107

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 5.1 Angulo del vértice de la antena .....	69
Ecuación 5.2 Factor de ancho de banda.....	69
Ecuación 5.3 Factor de ancho de banda de la región activa .....	70
Ecuación 5.4 Longitud de onda máxima.....	70
Ecuación 5.5 Factor del ancho del diseño.....	71
Ecuación 5.6 Longitud teórica del mástil.....	71
Ecuación 5.7 Cantidad de elementos resonantes.....	72
Ecuación 5.8 Longitud del dipolo de la frecuencia menor.....	73
Ecuación 5.9 Longitud de dipolos sucesivos.....	73
Ecuación 5.10 Distancia de separación entre dipolos.....	74
Ecuación 5.11 Impedancia de salida.....	75
Ecuación 5.12 Separación entre directores.....	76

## ABREVIATURAS

- ABNT: Asociación Brasileña de Normas Técnicas.
- COFDM: Coded orthogonal frequency division multiplexing, código de multiplexación por división ortogonal de frecuencia.
- DTH: Direct to home, directo a casa
- FEC: Forward error correction, corrección de errores hacia adelante.
- Fem: Fuerza electromotriz.
- HD: high definition, alta definición
- Hz: Hertzio.
- IDETEL: Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones.
- IF: Intermediate frequency, frecuencia intermedia.
- IPTV: Internet protocol television, televisión por protocolo de internet.
- ISDB-Tb: Integrated service digital broadcast terrestrial build inn, servicio de radiodifusión digital terrestre integrado
- ISO: Internacional Standar Organization, Organización Internacional de Estándar.
- LPDA: Logarithmic periodic dipole antenna, antena dipolo logarítmica periódica.
- MCP: Media convergence platform, plataforma de convergencia de medios.

MINAET:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.
M-PEG:	Moving picture expert group, grupo de expertos de imágenes en movimiento
MPLS:	Multiprotocol layer switch, conmutación de etiquetas de protocolo múltiple.
NTSC:	National Television System Committee, Comité Nacional de Sistema de Televisión
PAL:	Phase alternating line, línea de fase alternada
PCM:	Pulse code modulation, modulación por impulso codificado.
PES:	Packetized elementary stream, flujo elemental de paquetes.
QAM:	Quadrature amplitude modulation, modulación por amplitud de cuadratura
RF:	Radio frecuencia.
SD:	Standar definition, definición estándar.
TS:	Transport stream, flujo de transporte.
UHF:	Ultra high frequency, frecuencia ultra alta
VOC:	Video operation center, centro de video operaciones.
VHF:	Very high frequency, frecuencia muy alta.
VPN:	Virtual private net, red virtual privada.

## DEDICATORIA

A mis sueños.

## **AGRADECIMIENTO**

A José Raúl Gómez por abrirme las puertas de IDETEL, a los ingenieros Luis Robelo y Michael Cavallini por su apoyo durante esta investigación.

## RESUMEN

La televisión es un medio de comunicación universal, las personas acceden a ella sin necesidad de tener ningún conocimiento técnico. Esto permite a los usuarios acceso a la información, el conocimiento y diversión de una manera simple. A pesar que existen en la actualidad muchas tecnologías de la comunicación la televisión sigue siendo irremplazable.

Este estudio se realiza con el objetivo de diseñar un sistema electrónico que toma la señal del servicio de televisión de acceso libre costarricense y la inyecte en la parrilla de programación de una operadora de televisión por suscripción, la operadora tiene una concesión directo a casa (Direct To Home, DTH), para explotar el servicio en Costa Rica y lograr el servicio con un satélite en órbita geostacionaria que cubre el territorio nacional.

Se analizan las opciones de equipos y tecnologías para el procesamiento de las señales, donde se concluye el diseño de un sistema capaz de procesar canales de televisión y llevarlos hasta la cabecera de video ubicada por estrategia de la operadora en El Salvador. Para llevarla se utiliza un enlace virtual valiéndose de la infraestructura de la internet y del procesamiento de datos que permite la Conmutación de Etiquetas de Protocolo Múltiple (MultiProtocol Layer Service, MPLS).

Tener los canales de Costa Rica en la grilla de programación de la operadora es requisito para poder explotar la concesión y está pensada para ofrecer diversidad en la oferta de televisión que se puede acceder en el país sobre todo en las zonas rurales.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DEL PROYECTO**

## **1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.**

Innovación y Desarrollo en Telecomunicaciones (IDETEL) es una empresa que opera a nivel regional en Centroamérica desde el año 2010, tiene alianzas estratégicas con fabricantes de clase mundial para ofrecer soluciones para atender principalmente a los operadores de telecomunicaciones compartiendo recursos, conocimiento y experiencia innovadoras y competitivas

Su misión es diseñar, proveer y dar servicios a soluciones de tecnología de la información y comunicaciones para operadores de telecomunicaciones, clientes empresariales privados e instituciones gubernamentales acorde con sus necesidades y realidades.

Tiene como visión ser una empresa líder y convertirse en aliado de sus clientes. Ofreciéndoles conocimiento, dedicación y compromiso, estableciendo relaciones basadas en principios éticos de negocios y generando bienestar para todos los participantes. Logrando en su recurso humano un alto sentido de pertenencia y orgullo entregando todo su potencial en beneficio de la empresa y de los clientes.

IDETEL recibe un cliente solicitando una solución para llevar los canales de televisión de acceso libre de Costa Rica hasta su Centro de Video Operaciones (Video Operation Center, VOC) que se encuentra en El Salvador para ser incluirlos en la parrilla de programación. Se diseñará e implementará un sistema capaz de captar la señal, decodificarla, protocolizarla y entregarla al VOC, con este sistema la operadora cumplirá

el requisito técnico/legal principal para poder explotar la concesión de televisión por suscripción en Costa Rica.

### **1.1.2 Justificación del problema**

La explotación del servicio de televisión por suscripción está condicionada por la Ley General de Telecomunicaciones de Costa Rica y su reglamento que nos dice:

Para los sistemas terrestres de televisión integrados por suscripción, los concesionarios deberán incluir dentro de su programación los canales costarricenses de televisión que tengan cobertura en por lo menos un sesenta por ciento del territorio nacional, excluyendo la Isla del Coco, que cumpla con por lo menos catorce horas mínimas de transmisión diaria, que la recepción de la señal cumpla con los requisitos de señal mínima establecidas en el presente Reglamento, que tengan índices de audiencia aceptables y cuenten con los derechos de transmisión correspondientes. (Reglamento a la Ley General de Telecomunicaciones N°34765-MINAET, 2008, art.138.).

Por lo tanto la inclusión de los canales es mandatorio para poder operar en el país. También en respuesta a una acción de inconstitucionalidad presentada por la Asociación Cámara de Infocomunicación y Tecnología la procuradora general de la república señala:

La televisión por suscripción programa su servicio para el país y si dentro de su programación no se incluyeran los canales costarricenses se sigue como lógica consecuente que el usuario que contrate la televisión por

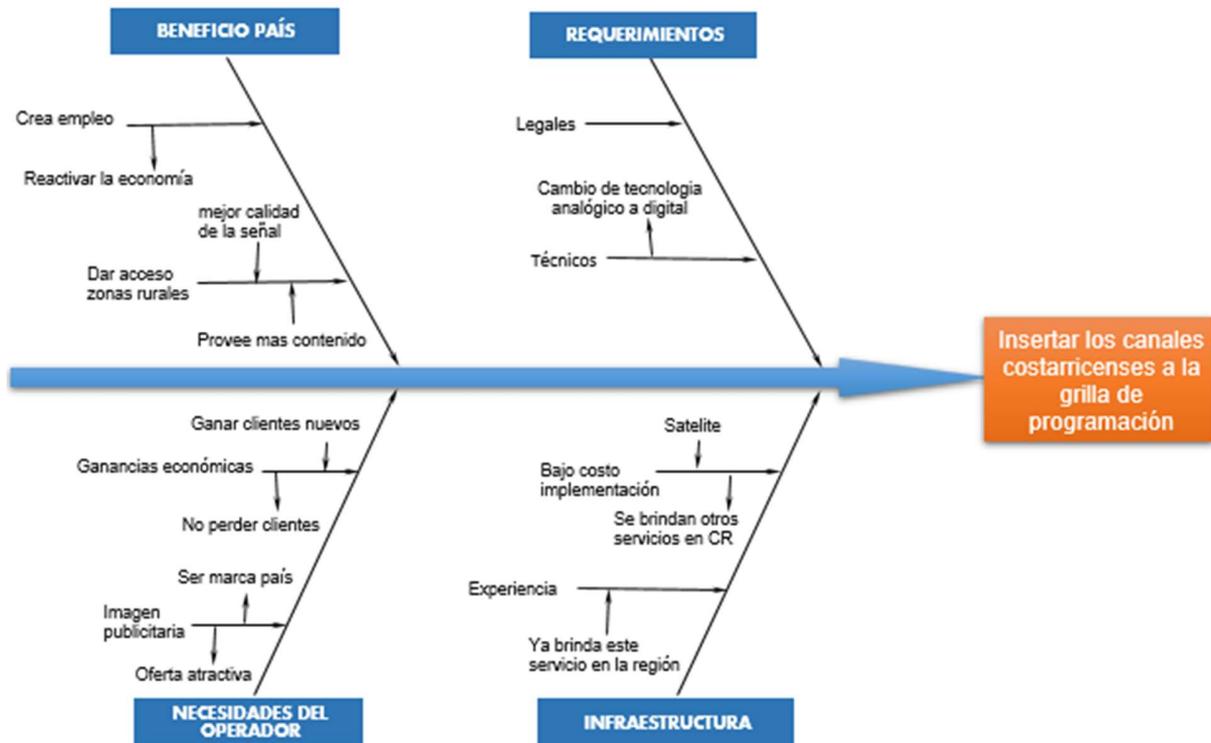
suscripción no tendrá posibilidad de obtener por este medio, un acceso a la información disponible en los canales locales. Tomando nota que solo excepcionalmente los canales extranjeros transmiten noticias sobre Costa Rica y más excepcional aun es que se transmitan programas locales en el exterior. En caso de que la cablera no incorpore los canales costarricenses, el suscriptor quedara imposibilitado de obtener información televisiva sobre programas noticieros, de opinión, culturales, sociales que tengan como contenido la realidad costarricense. En igual forma, le resultará vedado el acceso a las cadenas nacionales y lo que es más grave, información sobre emergencias. Se afecta el derecho a recibir información, en tanto facultad de recibir noticias o informaciones sobre hechos veraces de trascendencia pública. (Accion de Inconstitucionalidad Expediente N° 06-015330-0007-CO, 2007)

Una razón más para realizar el proyecto es que la operadora de DTH, tiene la mayoría de la infraestructura para dar el servicio de televisión satelital y la inversión para incluirlos baja en comparación con la inversión en el resto del sistema se tiene por buena estrategia invertir en la captación de los canales y obtener ingresos de esta porción de mercado.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Como se puede ver en la figura 1, el diagrama de causa efecto se presentan los factores principales que influyen para llevar a cabo la inserción de los canales costarricenses a la grilla de programación del operador de DTH.

Figura 1. Diagrama de causa efecto.



Fuente: Elaborado por el autor.

A continuación, se analizarán los factores que le dan sentido al proyecto y también permiten reconocer su viabilidad y utilidad.

- a) **Necesidad del operador:** es un operador de telecomunicaciones que como objetivo tiene generar ganancia a sus socios y dueños, encuentra en la televisión por suscripción un nicho de mercado para explotar y generar ganancias, desea conservar los clientes actuales y atraer nuevos clientes para ello, quiere mostrarse como una marca país incluyendo en su grilla de programación los canales locales así, ofrece un servicio más atractivo y puede identificarse con los costarricenses.

- b) **Infraestructura:** El operador cuenta con experiencia explotando concesiones de televisión en otros países de América Latina, además, en el país la empresa ya explota las concesiones de telefonía celular e internet, tiene los equipos, las tecnologías y los recursos para llevar a cabo el proyecto a costos menores de los que tendría si empezara de cero.
- c) **Requerimientos:** En Costa Rica existe la Ley General de Telecomunicaciones bajo la cual, las operadoras de televisión por suscripción para poder explotar la concesión deben incluir en su grilla de programación los canales nacionales, como mínimo los canales que cumplan con las condiciones del artículo 138 del Reglamento a la Ley General de Telecomunicaciones N°34765 – MINAE.

Por otro lado, se cuenta con un sistema de captación de señales de televisión abierta, pero es de tecnología analógica. En el año 2020 las televisoras deben actualizarse y cambiar la tecnología de transmisión de señal analógica a digital por lo que se debe actualizar o renovar el sistema para poder hacer frente a los nuevos modelos de transmisión de la señal de televisión. Este cambio de tecnología permite entregar una mejor señal al usuario y un uso más eficiente del espectro televisivo.

d) **Beneficio País:** El servicio de televisión satelital por suscripción beneficia directamente a las personas de las zonas rurales que por su geografía la señal de televisión abierta no es de calidad, le da mejor definición en audio y video al usuario y más contenido también, para poder operar el servicio es necesario emplear personal técnico y administrativo, creando empleos en múltiples niveles para la entrega del servicio. En contraste la infraestructura de cable coaxial o fibra óptica es inexistente en esas zonas.

Luego de analizar las diferentes fuentes causales de la situación actual, surge una cuestión principal:

**¿Cuál es la forma de desarrollar un sistema electrónico capaz de recibir señales de televisión digital terrestre en el estándar ISDB Tb y convertirla en tramas de red para enviarla al centro de video que se encuentra en El Salvador, cumpliendo con los requisitos legales para explotar la concesión, aprovechando la infraestructura existente y que la tv nacional llegue a zonas del país donde por razones geográficas la recepción de tv terrestre no es buena, en Costa Rica, durante el año 2020?**

## **1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema electrónico que permita la recepción de la señal de televisión terrestre digital, integrando tecnologías y tratamientos para llevar los canales de televisión costarricense al VOC localizado en El Salvador, desde Costa Rica en el año 2020.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Describir el sistema analógico actual que utiliza la operadora para recibir los canales de televisión abierta de Costa Rica.
2. Investigar las tecnologías de tratamiento de señales digitales de televisión.
3. Identificar las etapas de tratamiento de la señal de tv que produzca un código en tramas capaz de ser transportada a través de MPLS y que sirva como fuente de contenido para la operadora de televisión.
4. Demostrar a través de un diagrama en bloques los componentes macros del sistema que se utilizara en la implementación del mismo.
5. Establecer los requerimientos técnicos de comunicación que se necesitan para el tratamiento de la señal de acuerdo a la necesidad de la operadora de televisión.
6. Seleccionar los equipos que cumplan con las características técnicas y cualidades de los bloques identificados; tomando en cuenta los requisitos de la operadora y que cumplan con el proyecto.

7. Diseñar un sistema electrónico que sea capaz de recibir y transformar la señal de televisión digital y transformarla en tramas de red IP.
8. Implementar el sistema diseñado de recepción, transformación y envío de la señal de televisión digital.
9. Analizar el costo beneficio de la puesta en marcha del sistema.

## **1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **1.4.1 Alcance**

Este proyecto se enfoca en buscar una solución que lleve la señal de televisión de acceso libre de Costa Rica al centro de video por medio de técnicas de recepción de señales de radio frecuencia (RF), tratamiento y transformación de la señal de frecuencia intermedia (IF) para ser transportada hasta la sede del cliente en El Salvador. Con este proyecto se espera cumplir con los requerimientos técnicos y legales que permitan a la operadora la explotación de la concesión de televisión por suscripción en Costa Rica.

Con la implementación de este sistema la operadora podrá bajar la señal de todos los canales de televisión nacional y aquellos canales regionales que tienen cobertura en el área metropolitana con el estándar y calidad con que son transmitidos, sin perder información y con las opciones de interactividad y servicio que son posibles con las transmisiones de tv digital. Se espera dar mayor vida útil a los equipos y con el diseño modular del sistema permitir la escalabilidad vertical y mejoras sin incurrir en gastos elevados posteriores.

La realización del proyecto tiene como consecuencia llevar los canales de televisión de acceso libre costarricense a otros países de América donde la operadora tiene presencia. Con la explotación de la concesión de tv satelital se abre la posibilidad que se entregue el servicio de internet a través de la misma conexión satelital a lugares donde la fibra óptica, cable coaxial o señal de telefonía celular no llegan.

### **1.4.2 Limitaciones.**

La operadora desea que la implementación del sistema sea a más tardar agosto 2020, el Estado costarricense puso fecha límite a Agosto de 2019 para que los canales transmitieran en ISDB Tb en el GAM (Gran Área Metropolitana) para esa fecha no se tenía la implementación completa con los equipos de grado profesional y como teníamos que cumplir con los requisitos de ley, la solución temporal fue poner decodificadores de grado comercial, por lo que el operador no desea que esos equipos continúen en uso por más de un año .

La operadora tiene como costumbre realizar todos los trabajos de 11 pm a 5 am, para que impacte de la menor manera el servicio, por lo que se debe trabajar en horario nocturno en la implementación y pruebas del sistema, solo se permite realizar de día los trabajos de altura en torre.

Para la recepción de la señal se debe usar la torre de telecomunicaciones que tiene la operadora en Barreal de Heredia para instalar las antenas que captan las señales de televisión.

Las tareas de calibración y puesta a punto del sistema se realizarán con equipos de medición de señal RF e IF especializado (analizador de espectro, analizador de línea de transmisión), también se requieren herramientas para hacer conectores, estos equipos y herramientas son caros y el personal que utiliza estos equipos y herramientas son especialistas en su área, por lo que el costo operativo es elevado y la mano de obra difícil de encontrar.

Para la instalación y revisión de los equipos en torre (antenas, acoples y cables) se cuenta con personal calificado para el trabajo en altura, así como sus respectivos equipos de protección personal y el equipo especial para el izado de los materiales. Estos equipos son caros y el personal es mano de obra especializada que cuestan una suma importante de dinero y deberá tomarse en cuenta para no salirse del presupuesto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 SERVICIOS DE TELEVISIÓN.**

“La televisión significa literalmente visión a la distancia” (Dinsdale, 1926), es fuente clave de información sobre seguridad y emergencias, entretenimiento y educación, su abordaje no es tan simple pues existen cientos de canales y muchos proveedores de servicios que compiten por clientes, medios de transmisión y protocolos.

Estos canales y servicios pueden diferenciarse y agruparse de acuerdo a su naturaleza, medio de transmisión, tipo de encriptado o protocolo, fuente de contenido entre otros pero, en este proyecto se diferencia entre servicios de señal abierta y servicios por suscripción.

### **2.1.1 Servicios señal abierta.**

“La televisión abierta es una categoría de la comunicación audiovisual lineal que se recibe simultáneamente sin necesidad de demanda, identificación ni descryptación de ningún tipo”. (Gutierrez, 2017)

Estos servicios son los que el televidente no necesita pagar o tener un contrato previo para disfrutarlos. Usan señales moduladas en RF, no encriptadas, existen señales de origen terrestre pero también de origen satelital, tienen variedad de protocolos y bandas de frecuencia, en la última década se han incrementado las transmisiones a través de la internet. En algunos casos el mismo canal de televisión transmite por los 3 medios (señal abierta, cable e internet) y se pueden ver siempre y cuando se tenga el equipo (antena, decodificador, televisor, radio, acceso a internet, terminal, aplicación) adecuado.

### **2.1.2 Servicios por suscripción.**

Los servicios de televisión por suscripción están orientados a distribuir contenido exclusivo y requieren de un contrato previo, usan por lo general señales encriptadas especialmente cuando se transmiten en RF, pues son susceptibles a piratería y es menos general la encriptación cuando son transmitidas a través de redes físicas como: cables coaxiales ó fibra óptica.

Existen tres formas de servicios por suscripción; las operadoras de cable que son de cobertura regional y limitadas por la infraestructura física propia, las operadoras de televisión por protocolo de internet (internet protocol television, IPTV), que tienen mayor cobertura pues usan para su distribución de plataforma a la internet y las operadoras DTH que utilizan equipos y señales satelitales para su distribución.

La televisión evoluciono primero de señales abiertas a servicios por suscripción, los primeros servicios por suscripción fueron sin encriptar, pero poco a poco fue necesario la encriptación de señales para evitar que los que no pagaban accedieran al contenido así, primero se encripto la señal que se transmite por el aire y conforme las redes cambiaron a cable coaxial fue necesario encriptar estas señales. La encriptación es pasar la señal por un algoritmo que deconstruye la señal y del lado del receptor se debe saber que algoritmo se usó para reconstruirla.

La encriptación primero se hizo en señales analógicas y más recientemente en señales digitales y cumple una función especial en las señales de satélites que pueden cubrir grandes áreas de terreno, algunas veces estas señales llegan a países que por derechos

de autor no puede transmitirse un contenido entonces, se usa la encriptación para que solo pueda ser descifrada en el país o zona donde los derechos de autor lo permiten.

Las técnicas de encriptado han tenido que evolucionar debido a que los piratas buscan como descifrarlas apenas salen al mercado, por lo tanto, periódicamente los algoritmos se vuelven más complejos para hacer más difícil descifrarlo.

## **2.2 TRATAMIENTO DE LA SEÑAL DE TV DESDE LA FUENTE HASTA EL CLIENTE DTH.**

A continuación, se explicará la transformación que sufre la señal de tv abierta de Costa Rica a través de las etapas por las que pasa desde su origen hasta que llega al cliente.

### **2.2.1 Señales de televisión**

Las señales de televisión digital de acceso libre son transmitidas al espacio valiéndose del fenómeno de ondas electromagnéticas. Estas son producidas al acelerar cargas eléctricas estáticas que irradian energía a su alrededor. Las Emisoras de Televisión, transmiten sus señales en canales de la banda de frecuencia muy alta (very high frequency, VHF). Un canal de televisión es una banda de frecuencias ocupada por una emisión de audio y video, su ancho de banda es de 6 MHz.

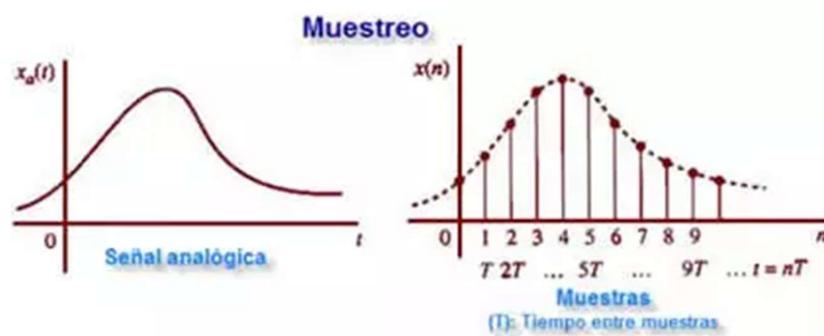
## 2.2.2 Digitalización de la señal

La señal original de audio y video es de carácter analógico, son colores y sonidos que deben ser llevados a código binario. Para digitalizarla se lleva a cabo un procedimiento llamado modulación por impulso codificado (Pulse Code Modulation, PCM) y se basa en tres operaciones; muestreo, cuantificación y codificación.

### 2.2.2.1 Muestreo

“Se trata de medir de la señal analógica a intervalos de tiempo definidos. Para que el muestreo sea efectivo, ósea que luego se pueda recuperar y sea entendible, deben de tomarse muestras a una velocidad de al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal, a esto se le llama frecuencia de Nyquist” (Cramer, 1959), ejemplo: el sonido que escuchan los seres humanos está entre 20 Hz hasta 20 kHz por lo que se deberá tomar mediciones a una tasa de al menos 40 mil muestras por segundo para luego reconstruir la señal sin perder información.

Figura 2. Muestreo de señal analógica.



Fuente. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/>

### 2.2.2.2 Cuantificación

Cuantificar es “definir un margen dinámico y discretizar el valor de la muestra al valor más cercano dentro del conjunto de valores posibles según el número de bits” (Barrio, 2013), por ejemplo, una muestra da 5,1 voltios se normaliza a 5 voltios, otra muestra da 2,9 voltios se normaliza a 3. Estos valores dependerán de la precisión del sistema, el resultado de esta fase es una serie ordenada de valores dentro del rango de precisión del equipo, asignados a cada una de las muestras tomadas.

Figura 3. Cuantificación de la señal.



Fuente: <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/>

### 2.2.2.3 Codificación

La codificación “es la asociación del valor de muestreo cuantificado a un código binario con el número de bits correspondiente” (Barrio, 2013), por medio de una tabla predeterminada, el resultado es una secuencia de unos y ceros que representan las variaciones en el tiempo de la señal analógica original.

Figura 4. Codificación de las muestras



Fuente. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/>

### 2.2.3 Compresión de la señal

La compresión de datos permite que el ancho de banda necesario para transmitirlo sea lo más pequeño posible y al mismo tiempo lograr una cantidad de información suficiente para reconstruir la señal. “La secuencia de unos y ceros o secuencia de bits puede ser tan grande que para manejarlo se necesitan realizar técnicas de compresión. La compresión es la reducción en tamaño de datos con el fin de ahorrar espacio o tiempo de transmisión”. (Mahdi, 2012)

La señal del video es una secuencia de imágenes denominada cuadros, cada cuadro se puede representar como una matriz de puntos iluminados o apagados llamados pixeles, estos cuadros están formados por filas y columnas. La compresión de imágenes se basa

en nuestro sentido de la vista, se analizan los cuadros y los píxeles de las imágenes que presentan imágenes estáticas o fondos que no cambian, y se refrescan menos veces, mientras que los píxeles que más varía (esto son los objetos que se mueven), se refresca más veces.

La compresión de audio se basa en que el oído humano no posee una resolución ideal, y así ciertas frecuencias no las percibimos y por lo tanto luego de comprimir y descomprimir la señal, el oyente no nota la falta de información.

#### **2.2.4 M-PEG.**

El grupo de expertos en imágenes en movimiento (Moving Picture Experts Group, MPEG) es un grupo de trabajo de la Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization, ISO) que se encarga de crear normas para determinar cuáles son estas tasas de muestreo, la precisión de la cuantificación, los parámetros de las tablas de codificación y las frecuencias de muestreo, también reglamenta como se envía las señales de video en definición estándar (Standard Definition, SD) y alta definición (High Definition, HD) además de las señales de audio que pueden ser en formato mono, estéreo, teatro 5.1, entre otros también reglamenta servicios que contemplan los estándares MPEG-2 y MPEG-4.

M-PEG permiten desechar gran cantidad de información redundante, lo que genera un ancho de banda muy inferior manteniendo la calidad de la transmisión. Esta característica lo hace ideal para entornos ruidosos como transmisiones en vivo de televisión o en aplicaciones de tiempo real.

### 2.2.5 Flujo de transporte

El flujo de datos resultante de la compresión de video se multiplexa con otras señales de audio y/o datos, además, de tablas de datos para formar un flujo resultante denominado flujo de transporte (Transport Stream, TS). Para facilitar el envío, el TS se divide en tramas que están encapsuladas con información pertinente para su decodificación posterior, a estas tramas encapsuladas se les denomina flujo elemental de paquetes (Packetized Elementary Stream, PES).

“Un flujo de transporte es más que la multiplexación de muchos paquetes PES. En secuencias programadas, las marcas de tiempo son suficientes para recrear el eje de tiempo porque el audio y el video están bloqueados en un reloj común. Para la transmisión por una red de datos a distancia, existe un requisito adicional para volver a crear el reloj para cada programa en el decodificador. Esto requiere una capa adicional de sintaxis para proporcionar señales de referencia de reloj de programa”. (Tektronix, Recuperado 2020)

Cada TS puede estar conformada por varias señales de diferentes canales simultáneamente lo que a su vez permite a través de un solo flujo enviar gran cantidad de información. Los PES se pueden etiquetar dentro de otros protocolos para llevarlos dentro de redes de transporte. TS es parte integral del protocolo M-PEG. El TS puede viajar a través de ondas de radio, fibra óptica o cobre para ser utilizadas como fuentes de video para cabeceras de distribución (Headend).

## 2.2.6 Estándares para la transmisión de señales de televisión digital por ondas de radio.

Las señales digitales de audio y video fueron desarrolladas el siglo pasado y por sus prestaciones fueron rápidamente aceptadas pero, al momento de transmitir las señales se utilizaban estándares analógicos como el de líneas de fase alternadas (pase alternating line, PAL) y el del Comité Nacional de Sistema de Televisión (National television System Committee, NTSC). No fue sino hasta finales del siglo 20 que se empezó a implementar estándares digitales para la radiodifusión.

Para enviar la información digital a través de ondas de radio se han desarrollado varios estándares, países como Estados Unidos, Japón, y China desarrollan sus propios estándares mientras que en conjunto los países europeos desarrollan otro estándar.

Tabla 1. Estándares de televisión digital.

Origen	Estándar	Significado
Estados Unidos	ATSC	Advanced Television Sistem Commitee
Japón	ISDB T	Integrated Service Digital Broadcast Terrestrial
Europa	DVB T	Digital Video Broadcast Terrestrial
China	DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast

Fuente. Elaborado por el autor.

Mediante el decreto ejecutivo N°36009-MP-MINAET del 29 de abril 2010, el Poder Ejecutivo adoptó el estándar de televisión digital abierta Japonés Brasileño, conocido en sus siglas como "ISDB-Tb", como la norma aplicable para la implementación de la televisión digital en nuestro país.

### 2.2.7 ISDB-Tb

El servicio de radiodifusión digital terrestre integrado (Integrated Service Digital Broadcast Terrestrial Build inn, ISDB-Tb) también conocido como Servicio Digital Brasileño de Televisión (SDBTV), o ISDB-T Internacional, es el servicio de radiodifusión basado en el estándar creado por Japón, modificado por Brasil y adoptado por gran número de países latinoamericanos.

A diferencia de los otros estándares mencionados el ISDB-Tb soporta televisión, radio y datos, todos estos servicios pueden ser transmitidos independientes unos de los otros porque el estándar divide la señal en 13 segmentos de la banda de radio, en los cuales cada segmento transmite información de manera independiente.

Utiliza modulación por amplitud de cuadratura de 64 códigos (64QAM) y el código de multiplexación por división ortogonal de frecuencia (coded orthogonal frequency división multiplexing, COFDM), permite video HD en el estándar MPEG-4, servicios en movilidad y un sistema de mensajería en caso de emergencias que pueden usar los gobiernos para transmitir información pertinente.

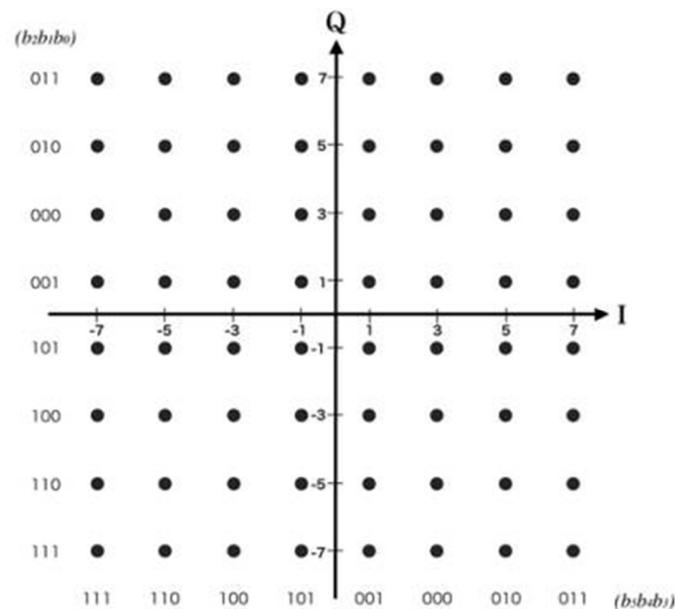
**ABNT NBR 15601** es el estándar técnico publicado por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas, que se encarga de atender los aspectos relativos a la transmisión en la norma de televisión digital ISDB-Tb.

## 2.2.8 Modulación 64QAM.

La modulación por amplitud de cuadratura consta de múltiples niveles donde la amplitud y la fase de la onda determina el dato que se está enviando. La modulación 64QAM es la utilizada en televisión por su robustez y nivel de compresión logrado

La modulación 64QAM se visualiza como una constelación de puntos en una matriz definida con 16 valores discretos por cada cuadrante dando un total de 64 valores discretos y posibilitando el envío de hasta 6 bits en cada valor discreto, combinando desfases y amplitudes.

Figura 5. Constelación de 64QAM



Fuente. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/>

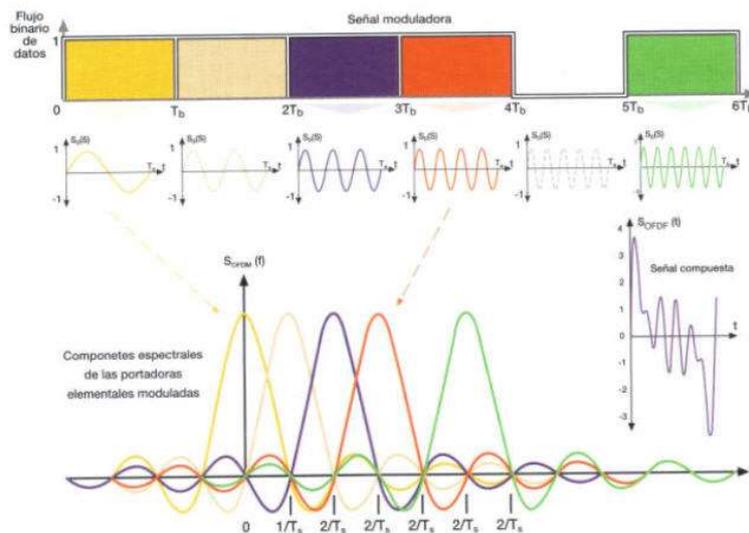
De esta manera cada vez que la señal portadora cambiara la fase y amplitud de la señal de acuerdo a la constelación está transmitiendo 6 bits de información en un solo dato discreto.

## 2.2.9 Modulación COFDM

Un canal de televisión es una banda de frecuencias ocupada por una emisión de audio y video, para que esta información viaje a través del aire se debe modular la señal en una frecuencia portadora. La señal de televisión digital de acceso libre es una señal compuesta por varias señales de varias portadoras en una banda de frecuencia determinada, esto se debe a que la modulación 64QAM por sí sola no cumple con las exigencias de protección frente a ecos y optimización del ancho de banda asignado.

Debido a esta limitante se multiplexa el flujo de información modulado en 64QAM en varias portadoras. Cada una maneja una cantidad de datos reducidos, esta modulación sobre ondas moduladas se conoce como COFDM, dando como resultado una señal como la que se muestra a continuación.

Figura 6. Componente espectral de las portadoras moduladas COFDM.



Fuente. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/>

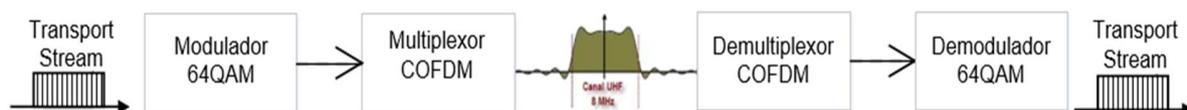
La modulación mostrada en la figura 6, permite enviar gran cantidad de datos en menor tiempo creando un tipo de compresión de datos, además evita problemas por rebotes de señales e interferencia de ruido.

### 2.2.10 Recepción de la señal de acceso libre.

Las ondas de televisión viajan por el aire en la banda de VHF, para recibirla se debe disponer de una antena receptora que este sintonizada en esta banda, cuando la antena capta la señal produce una fuerza electromotriz (fem) que viaja por la línea de transmisión convirtiendo las ondas de radio en corriente eléctrica, esta señal debe inyectarse en circuitos filtro que separan las señales por bandas y permiten sintonizar cada canal por separado.

Luego de ingresar al filtro y seleccionar el canal deseado, el proceso para obtener la señal de audio y video. Se debe demultiplexar el COFDM, demodular 64QAM, relacionar con tablas predefinidas de MPEG y extraer el TS. Ya que nuestra finalidad no es ver la señal de forma local sino servir de fuente de contenido para la operadora, el TS se toma y se envía a la cabecera por medio del servicio MPLS en tramas PES.

Figura 7. Modulación y demodulación de señal de TV



Fuente. Elaborado por el autor.

Luego de la recepción de señales de televisión digital, se somete la información a un proceso de detección y corrección de errores.

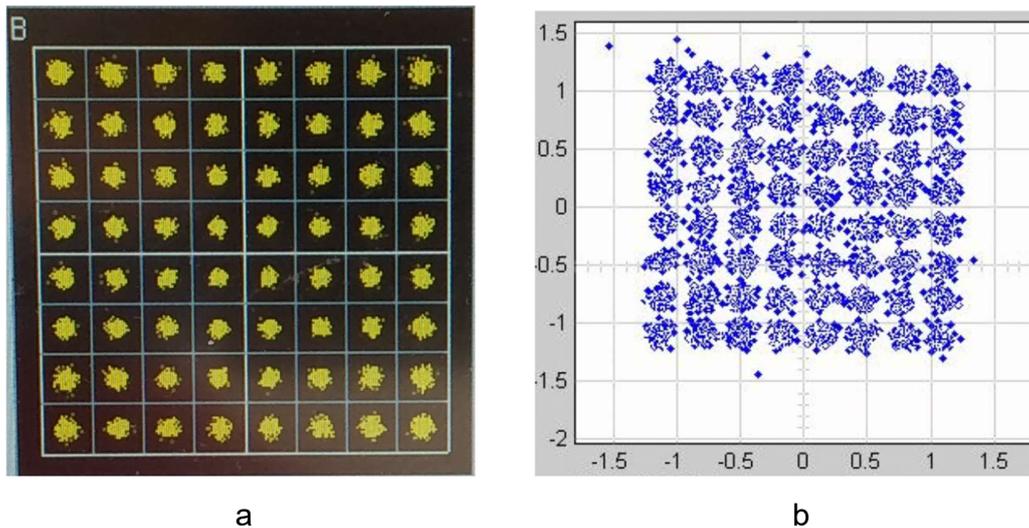
### **2.2.11 Detección y corrección de errores.**

Los errores en las señales de televisión en RF ocurren por diversos motivos como:

- Reflexión especular y difusa.
- Ruido natural y generado por la actividad humana.
- Ruido e interferencia impulsivos.
- Interferencia de banda estrecha.
- Propagación multi camino
- Desvanecimiento selectivo en frecuencia.
- Efectos de sombra (difracción).
- Coexistencia con otros servicios.

Para corregir estos errores se utiliza el método de corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction, FEC). Para lograr estas correcciones la señal debe ser tratada desde antes de enviarla al aire, es un método estandarizado que logra predecir cómo debe ser la señal y que patrones de transmisión evitar para reducir los errores.

Figura 8. Constelación 64QAM sin interferencia Vrs interferida.



Fuente. Elaborado por el autor.

En la figura 8a se observa la constelación 64 QAM deseable sin interferencia cada mancha es el aglomerado de bits que caen dentro de los términos de fase y amplitud y se pueden diferenciar entre ellos los grupos. La figura 8b muestra la constelación 64 QAM con manchas grandes y traslapadas con las otras manchas haciendo imposible saber a qué coordenada corresponde. Esto ocurre cuando la señal esta degradada o interferida y para esto sirve la corrección FEC.

Mediante ajustes, configuraciones de antenas y niveles de señal se corrige este efecto para que la constelación lusca limpia y así evitar ambigüedades que llevan a una mala recepción.

### **2.2.12 Servicio MPLS.**

La MPLS es una forma de asegurar conexiones confiables para aplicaciones en tiempo real, es una técnica que puede llevar desde redes virtuales privadas (private virtual network, VPN) hasta internet, pero debido a que se debe utilizar una estructura de red física y necesita un ancho de banda considerable es costoso. Solo se lo pueden permitir grandes empresas de comunicación y empresas con información sensible como los bancos.

La MPLS encapsula los paquetes de datos con una etiqueta que cada enrutador compara con una tabla que debe ser creada previamente y en función de esa tabla el enrutador “decide” si retransmite el paquete o lo desecha. Al retransmitirlo el enrutador le cambia el número dentro de la etiqueta y el siguiente enrutador lee esta nueva etiqueta y vuelve a “decidir” si lo reenvía o lo desecha y así hasta que el paquete llega a su destino.

Esta técnica permite que se puedan aprovechar múltiples equipos de red para que los paquetes viajen. Las etiquetas también van numeradas con una secuencia de los paquetes para que, al llegar a destino, aunque lleguen en desorden se puedan ordenar y decodificar.

La programación de las tablas MPLS es fundamental para que los paquetes puedan llegar a destino. Se deben crear tablas específicas para cada enrutador en particular en la ruta de la información

### **2.2.13 Sistema de cabecera de televisión**

La cabecera de televisión es el concentrador de la operadora que reciben las señales de televisión desde sus fuentes que pueden ser satelital, fibra óptica, cable coaxial o señal RF. Estas fuentes dependiendo de su origen se deben demodular, demultiplexar, amplificar y obtener el TS de cada señal para enviarlo a un equipo que multiplexa y ordena la señal para crear un nuevo TS de acuerdo a las necesidades y gustos de la operadora, para enviarla a través de su red de distribución.

Una de las fuentes de señales de la operadora son los canales de acceso libre de Costa Rica, la cabecera las recibe por medio de un enrutador en una de sus interfaces y luego de quitarle la etiqueta MPLS la señal queda en formato TS para ser llevada al concentrador y ordenarla en la parrilla de programación.

### **2.2.14 Servicio DTH**

El servicio DTH hace alusión al servicio de televisión que llega al hogar a través de una señal satelital que se captura en cada casa o edificio usando una antena parabólica y un decodificador.

Los servicios de televisión satelital existen de 3 formas: señales libres sin codificar, servicios por suscripción y de pago por eventos, en esta ocasión solo se hablará del servicio por suscripción pues es el que ofrece la operadora.

La operadora transmite su señal en TS ordenado que para distribuirla a sus suscriptores debe enviar primero desde la cabecera hasta el satélite utilizando la banda de frecuencias C, en el satélite la señal es demodulada/modulada pero ahora en la banda de frecuencias

$K_u$  que es emitida por el satélite hacia la tierra, para ser captada por cada antena parabólica configurada para este operador.

Estos satélites son geoestacionarios, lo que quiere decir que gira alrededor de la tierra cerca del ecuador a una velocidad parecida a la velocidad de rotación del planeta por lo que para nosotros en la tierra pareciera que el satélite esta siempre en el mismo lugar del cielo permitiendo una cobertura constante de una zona específica y permitiendo que se desplieguen antenas parabólicas en tierra con una dirección fija que siempre están captando la señal.

Para obtener la señal se debe instalar una antena parabólica sintonizada en la banda  $K_u$ , y direccionada al satélite y conectar la antena a un demodulador y luego a un decodificador, finalmente se conecta al televisor, de esta manera el viaje de la señal termina su recorrido.

## 2.3 CONTEXTO TEÓRICO

### 2.3.1 Antena.

Segun (Miguel Ferrando, 2013); “Las Antenas son las partes de los sistemas de telecomunicación específicamente diseñadas para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

También se pueden definir como los dispositivos que adaptan las ondas guiadas, que se transmiten por conductores o guías, a las ondas que se propagan en el espacio libre” (Pag1). Transforma la energía electromagnética en fem (fuerza electromotriz) y viceversa.

La señal de televisión está conformada por muchas portadoras, esto sumado a los ecos producto de las señales que rebotan en el relieve e infraestructura la vuelven muy ruidosa, la antena es una pieza fundamental del sistema, deberá tomar la señal más limpia posible de ecos y ruido, deberá estar ajustada a los parámetros de la banda de televisión UHF, porque todos los canales digitales se están transmitiendo en esa banda.

De los tipos de antenas, la que se mejor se desempeña en la recepción de señales es la antena Yagi, presenta un patrón de lóbulo de radiación direccionado y de alta ganancia. Además, por su construcción se pueden orientar de acuerdo a la orientación de la radiación emitida por la señal transmitida.

Tabla 2. Atribución de las frecuencias de televisión.

Frecuencia	Asignación	Observaciones
54 MHz a 72 MHz	Canales VHF: 2 al 4	Servicio de radiodifusión televisiva
76 MHz a 88 MHz	Canales VHF: 5 y 6	Servicio de radiodifusión televisiva
174 MHz a 216 MHz	Canales VHF: 7 al 13	Servicio de radiodifusión televisiva
470 MHz a 608 MHz	Canales UHF: 14 al 36	Canales de numero impar: Valle Central Canales de numero par: Zona Rural
608 MHz a 614 MHz	Radioastronomía	Frecuencias exclusivas para el servicio de radioastronomía
614 MHz a 698 MHz	Canales UHF: 38 al 51	Canales de numero par: Valle Central Canales de numero impar: Zona Rural
698 MHz a 806 MHz	Canales UHF: 52 al 69	Una vez realizada la migración de la televisión al sistema digital, este segmento quedara atribuido a titulo primario para servicios IMT

Fuente. Modelo de referencia TVD, MICIT.

De acuerdo a la tabla 2, la banda UHF para la televisión digital en Costa Rica abarca desde la frecuencia 470 MHz hasta la frecuencia 806 MHz por lo que debemos tener esto en cuenta para diseñar el sistema.

### **2.3.2 Línea de transmisión.**

“Las líneas de transmisión se utilizan para transmitir energía eléctrica y señales de un punto a otro, específicamente de una fuente a una carga” (Enriquez, 2019). Son los canales físicos por los que viajan las señales, los cables de IF son cables coaxiales que por sus propiedades y construcción permiten que la señal eléctrica viaje a través de él con muy poca incidencia de las interferencias producidas por otras señales externas, se conectan a la antena por medio de un acople de impedancia.

Tanto la salida de la antena como el cable tienen una impedancia característica que lo dan su construcción, para que la línea de transmisión funcione bien debe tener una impedancia característica similar a la impedancia de la antena y la impedancia de la entrada del sintonizador, esto permite la menor pérdida de energía, para lograr este balance se utilizan acoples de impedancia.

### **2.3.3 Distribuidores de la señal**

Los divisores coaxiales también conocidos como splitter o taps coaxiales son componentes que dividen la señal entrante para poder ser tomada la señal de cada cañal de forma individual. Estos divisores están contruidos de tal forma que su respuesta dependerá de la frecuencia que pasamos a través de ellos. Se construyen tomando en cuenta la aplicación y la banda de frecuencia que usaran por lo que la elección de estos dispositivos se traducirá en una señal de calidad.

Los divisores se construyen con una entrada y varias salidas, en el mercado se pueden conseguir de 2 salidas, 4 salidas, 8 salidas o 16 salidas.

### **2.3.4 Sintonizador**

“Los sintonizadores son dispositivos que reciben señales de RF y las convierten a una menor frecuencia intermedia modulada (IF) o realizan una conversión descendente a una banda de base no modulada. Los sintonizadores se llaman así porque realizan esta función de forma selectiva en frecuencias configurables que transportan señales de información denominadas canales” (Arrow, s.f).

El circuito sintonizador se logra con componentes inductivos (L) y capacitivos (C), que discriminan las frecuencias bajas (filtro paso bajo), y luego discrimina las frecuencias altas (filtro paso alto), para poder seleccionar la banda deseada se utiliza un capacitor variable por tensión (varicap), o una bobina variable por tensión (varactor), ambos componentes son muy utilizados en diseños RF para sintonizadores y osciladores. Así cuando se desea seleccionar el canal se inyecta una tensión específica al componente, de esta manera la sintonía es muy precisa.

### **2.3.5 Etapas de amplificación.**

El amplificador es el equipo que toma la señal y la amplifica, porque cuando la señal viaja en el aire y dentro del cable sufre atenuación. “La señal de entrada al receptor generalmente presenta una amplitud extremadamente baja, un receptor típico debe ser capaz de amplificar la señal de entrada por un factor del orden de algunos miles, para que esta tenga suficiente amplitud para ser útil” (Argentina, Universidad Tecnica Nacional, s.f), esta etapa es importante y en sistemas de recepción de señal RF se hace generalmente en 2 etapas.

La primera etapa se llama preamplificación: esto ocurre cuando la señal es recogida por la antena y antes de sintonizar el canal se amplifica, a esta señal se denominada señal RF, aun modulada y con todos los ecos y ruidos que pudo recoger del ambiente, se lleva a nivel máximo posible sin saturarla.

Luego de que pasa por el sintonizador y demodulador, la señal sin la portadora ahora se llama señal IF, pasa por la segunda etapa de amplificación, la señal es llevada a niveles óptimos de amplitud con relación a ruidos e interferencias, lista para ser interpretada.

### **2.3.6 Demodulador**

Al proceso de “extraer la información contenida en una señal modulada” (Real Academia Española, 2014), se llama demodular. Demodulador es el circuito electrónico que le quita la portadora a la señal, esta demodulación puede lograrse por medio de un filtro parecido al de sintonía pero en este caso excluyendo a la frecuencia de portadora o a un circuito sumador donde se inyecta una señal de la misma forma y frecuencia de la portadora donde al mezclarlas se anulan, permitiendo el paso solo de la señal de audio o video en su forma analógica y actualmente permitiendo el paso de el tren de pulsos que llamamos flujo de transporte (transport stream).

### **2.3.7 Demultiplexor**

Luego de obtener el flujo de transporte de cada canal individual, se deben llevar todas estas señales a la cabecera, la mejor forma es a través de un canal único por lo que las múltiples señales deben ser ordenadas en “fila” para enviarlas.

“Los demultiplexores... Sirven para dirigir la información digital procedente de diversas fuentes a una única línea para ser transmitida a través de dicha línea a un destino común, es decir, que puede servir para comunicarnos vía serie” (electronicasi, s.f)

El demultiplexor toma los datos de todos los canales y los ordena en esa “fila” para hacerlo se basa en ranuras de tiempo, donde divide en unidades de tiempo iguales e inserta la señal de un canal en cada ranura así al llegar a la cabecera el sistema podrá saber cuál señal pertenece a que canal basándose en las ranuras de tiempo que deben ser sincronizadas. Dependiendo de la capacidad de procesamiento que tenga el multiplexor podrá tener más cantidad de ranuras para procesar más señales. Así tendremos nuestra señal lista para ser enviada a través de la MPLS.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación surge de la necesidad de saber cómo funcionan y operan los sistemas de televisión y como lo expone (Cid, 2011), “la investigación es una herramienta utilizada por las personas y la sociedad para aclarar dudas y problemas y, de paso, aumentar el conocimiento sobre algo” (p.9), se hace pues necesario documentar el proceso para crear conocimiento.

Nos amplia (Tamayo, 2003) “la investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p.37) por lo tanto basándome en el método científico buscare a continuación la información que me permita

#### **3.1.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confiar en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población. (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003)

La investigación de las señales de televisión es un campo ya investigado por lo que se enfoca en recolectar información e identificar las técnicas y equipos ya existentes para lograr el diseño del sistema que captara los canales de televisión.

### **3.1.2 Finalidad de la investigación**

“Las tesis clasificadas como investigación tecnológica son los trabajos de investigación cuyo interés y resultados se centran en la producción de satisfactores para la sociedad, por medio de la aplicación del conocimiento para la transformación de la realidad e innovación de la industria, el comercio, las tecnologías de información, las áreas ingenieriles, los equipos, programas y sistemas con la finalidad de generar soluciones en beneficio de una comunidad específica o de la población en general.” (Muñoz, 2011, pág. 26)

Este proyecto explora el campo de las telecomunicaciones y aplica conocimiento en el área de la ingeniería, aporta la recopilación de información de la tecnología de radiodifusión y el tratamiento de señales por lo que decimos que tiene una finalidad tecnológica.

### **3.1.3 Dimensión temporal**

En ocasiones, el interés del investigador es analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre éstas aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces se dispone de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003). Durante este estudio nos interesa analizar un cambio de tecnología y las variables que se involucran para lograr un servicio, por lo tanto, se puede dimensionar temporalmente como evolutiva.

### 3.1.4 Marco de la investigación

(Kaufman, 2004) menciona que el nivel mega “es el resultado de todo lo que una organización usa, hace, produce y logra – productos y outputs- con respecto a los clientes externos y el mundo exterior. Vincula todos los elementos organizacionales.” (p. 117). En este nivel se definen los resultados en términos del impacto social deseado, donde los resultados esperados derivan de una visión ideal de la sociedad con base en la cual se definen la misión de la organización y sus integrantes

Asimismo (Kaufman, 2004) describe que el nivel macro: “combina el nivel micro de contribuciones (productos) para poder lograr resultados útiles fuera de la organización para los clientes externos. La unidad de análisis del nivel macro es el total de lo que usa una organización usa, hace y logra para sí misma, así como también para sus clientes externos. No incluye resultados y consecuencias externas.” (p.118). Este nivel indica que los resultados son los ingresos y que el valor generado beneficia a la organización.

Finalmente (Kaufman, 2004) determina que el nivel micro “engloba el interés por las contribuciones acumulativas de los (a) recursos organizacionales (inputs) mas (b) los procedimientos y métodos (procesos) empleados en las actividades organizacionales que logran (c) resultados inmediatos (productos).” (p.118). En este nivel, los resultados se miden en términos de los productos internos de la organización como lo son los productos.

Para el marco de esta investigación se determina que se desarrolla un solo sistema de recepción y procesamiento de señales de tv de acceso libre esto impacta solo una línea de servicio de varios servicios de telecomunicaciones que posee este cliente en específico en el sector de telecomunicaciones, por lo que se encuentra ante una investigación micro.

### **3.1.5 Naturaleza de la investigación**

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003, pág. 92).

El carácter de esta investigación concuerda con la explicación de Sampieri por lo que pretende describir las partes del proyecto, pero también describiremos el proceso de los datos a través de las ondas de radio, y las comunicaciones en paquetes de datos.

## **3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN**

“Las fuentes de investigación son las situaciones o documentos desde los que se extraerá la información que, organizada, constituye el objeto de la investigación” (Gallardo, 1991, pág. 154). Se refiere aquí a instituciones, libros y personas, de donde proceden los datos, recopilados a través de la investigación. Se usa en este estudio básicamente fuentes primarias y secundarias.

### **3.2.1 Fuentes primarias**

Se consideran fuentes primarias aquellas que proporcionan información de primera mano para realizar la investigación. En este caso de estudio los medios primarios de información van a ser obtenidos a través de libros, revistas científicas, documentos oficiales de instituciones públicas, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, patentes, normas técnicas.

### **3.2.2 Fuentes secundarias**

“Son compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en un área de conocimiento en particular (son listados de fuentes primarias), donde se mencionan y comentan brevemente artículos, libros, tesis, disertaciones y otros documentos relevantes” (Gómez, 2006, pág. 51).

Son fuentes secundarias las referencias publicadas acerca del tema en otros medios indirectos, como: enciclopedias, antologías, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones, artículos publicados en Internet y boletines.

### 3.2.3 Sujetos de información

Los sujetos de información son aquellas personas vinculadas de alguna forma al proyecto que brindan información del mismo, por medio de diferentes mecanismos como entrevistas y encuestas para facilitar al investigador el estudio del problema que quiere resolver. En la tabla 3 se desglosa esos sujetos, su importancia y experiencia y labor que cumplen en la línea de ejecución.

Tabla 3. Sujetos de la información.

<b>Puesto laboral o descripción general</b>	<b>Profesión u oficio</b>	<b>Experiencia</b>	<b>Relación con el tema</b>
Implementador	Técnico electrónico	Técnico Instalador	Es el encargado de instalar, calibrar y configurar los equipos
Diseñador	Ingeniero electrónico	Conocimiento de equipos y sus características, AutoCAD, código eléctrico para la construcción, instalación	Encargado de decidir qué equipos y suministros se deben comprar para satisfacer el sistema
Gestor de compras	Técnico aduanero	Compras en línea, pago de impuestos y seguimiento de los equipos en bodega.	Es el encargado de comprar los equipos, pagar por ellos y gestionar su ingreso al país y almacenaje
Gerente de ingeniería	Ingeniero en proyectos	Encargado de la realización de proyectos	Encargado que los proyectos se realicen en términos de calidad y tiempo con un margen razonable de ganancia

Fuente. Elaborado por el autor.

### **3.3 TÉCNICAS Y HERRAMINETAS**

La recolección es una de las etapas más importantes en el desarrollo de la investigación. El investigador debe manejar instrumentos que garanticen la confiabilidad y validez de la información.

A la hora de recolectar información deben considerarse tres actividades que están estrechamente vinculadas entre sí. La primera de ellas consiste en seleccionar el método de recolección de datos que tiene como requisito ser válido y confiable para que puedan ser considerados los resultados (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003)

#### **3.3.1 Observación**

“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2012, pág. 69).

No consiste solamente en limitarse a ver un evento, sino que implica involucrarse en la situación de estudio y mantener un papel activo dentro de esta, así como una reflexión permanente, prestando atención a los detalles, sucesos y eventos. (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003).

Para esta investigación utilizaremos la observación para conocer el entorno y las necesidades que se deben solventar para que el proyecto cumpla con los objetivos.

### **3.3.2 Entrevista**

Una entrevista es una técnica de recolección de información basada en un diálogo “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado; con la cual se logra obtener la información requerida de un tema determinado. Este instrumento se caracteriza por su profundidad, ya que con él se puede indagar de manera más amplia sobre los diferentes aspectos o detalles de la investigación”. (Arias, 2012).

En una entrevista de tipo semiestructurada, esta se basa en una guía o lista de preguntas donde el entrevistador posee la libertad de formular preguntas adicionales conforme se desarrolle la entrevista, para de esta forma precisar conceptos y obtener información adicional. (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003).

La experiencia previa de los involucrados en este proyecto tanto del lado de IDETEL como del cliente, es clave para la correcta implementación del proyecto.

### **3.3.3 Análisis de contenido**

El análisis de contenido se sitúa en el ámbito de la investigación descriptiva, pretende, sobre todo, descubrir los componentes básicos de un fenómeno determinado extrayéndolos de un contenido dado a través de un proceso que se caracteriza por el intento de rigor de medición. (Noguero, 2002, pág. 174)

El Diccionario de la Real Academia Española (Real Academia Española, 2014) define el término “análisis” primeramente como la “distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos”.

El propósito es analizar la información recabada en las entrevistas y en los libros de texto y demás obras para conocer los elementos que deben conformar este sistema. Se recopilará la teoría y la experiencia previa obtenida para componer un sistema capaz de llevar a cabo las funciones necesarias de tomar la señal del aire, interpretarla, transformarla y enviarla al VOC.

### **3.4 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

Cuando se hace referencia a una variable se habla de una propiedad que tiende a sufrir cambios que puede medirse u observarse. “Una variable es una característica o cualidad, magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control de una investigación” (Arias, 2012, pág. 57).

Por su parte (Sampieri Hernandez & Collado Fernandez, 2003) define las variables como: una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. Ejemplos de variables son el género, la presión arterial, el atractivo físico, el aprendizaje de conceptos, la religión, la resistencia de un material, la masa, la personalidad autoritaria, la cultura fiscal y la exposición a una campaña de propaganda política.

El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas. (p.105).

De acuerdo a los autores se definirán las variables de la investigación de acuerdo a los objetivos planteados y se despliegan para su reconocimiento en la siguiente tabla

Tabla 4. Variables de la investigación.

<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
Estudiar las tecnologías de tratamiento de señales de televisión.	Tecnologías de tratamiento de la señal	Elección de los equipos y tecnologías apropiados para el desarrollo del proyecto
Identificar las etapas de tratamiento de la señal de tv que produzca un código en tramas capaz de ser transportada a través de MPLS y que sirva como fuente de contenido para la operadora de televisión.	Las etapas de tratamiento de la señal	Elementos a tomar en cuenta para la investigación
Demostrar a través de un diagrama en bloques los componentes macros de mi sistema que se podrían utilizar en la implementación del mismo.	Diagrama de bloques	Creación del diagrama de bloques propuesto para el sistema
Establecer los requerimientos técnicos de comunicación que se necesitan para el tratamiento de la señal de acuerdo a la necesidad de la operadora de televisión.	Requerimientos técnicos	Estudio de las leyes, normativas y deseos del cliente para diseñar el sistema
Seleccionar los equipos disponibles en el mercado que cumplan con las características técnicas y cualidades de los bloques identificados; tomando en cuenta los requisitos de la operadora y que cumplan con el proyecto.	Disponibilidad de equipos en el mercado	Selección de los equipos compatibles para el sistema
Diseñar un sistema electrónico que sea capaz de recibir y transformar la señal de tv en tramas de red.	Diseño de sistema	Creación del sistema propuesto en el proyecto
Implementar el sistema diseñado de recepción, transformación y envío de la señal de televisión.	Implementación del sistema	Instalación, conexión y configuración de los equipos involucrados
Realizar un manual de operación que permita al personal técnico la manipulación y buen funcionamiento del sistema cuando este en uso.	Elaboración de manual técnico	Procedimientos y configuraciones de los equipos
Analizar el costo beneficio de la puesta en marcha del sistema.	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Fuente: Elaborado por el autor.

### **3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Según (Trochim, 2015), el diseño de la investigación “es el pegamento que mantiene el proyecto de investigación cohesionado. Un diseño es utilizado para estructurar la investigación, para mostrar cómo todas las partes principales del proyecto de investigación funcionan en conjunto con el objetivo de responder a las preguntas centrales de la investigación” (p.13).

Para que la investigación tenga coherencia y se lleve a buen término se debe planear, por lo que es necesario estructurarla de acuerdo a sus objetivos para poderlos llevarlos a cabo, a continuación, se muestra el diseño de esta investigación a través de la siguiente tabla.

Tabla 5. Diseño de la investigación.

Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de investigación	Técnicas y herramientas
¿Cuál será la mejor forma de desarrollar un sistema electrónico capaz de recibir señales de televisión digital terrestre en el estándar ISDBTB y convertirla en tramas de red para enviarla al Centro de Video que se encuentra en El Salvador, de esta forma cumplir con los requisitos legales para explotar la concesión, aprovechar la infraestructura existente y que la tv nacional llegue a zonas del país donde por razones geográficas la recepción de tv terrestre no es buena, en Costa Rica, durante el año 2020?	Desarrollar un sistema electrónico que permita la recepción de la señal de televisión terrestre digital, integrando tecnologías y tratamientos de la señal para llevar los canales de televisión costarricense al VOC localizado en El Salvador para explotar la concesión de televisión por suscripción en Costa Rica en el año 2020.	Estudiar las tecnologías de tratamiento de señales de televisión.	Tecnología	Analitico	observacion
		Identificar las etapas de tratamiento de la señal de tv que produzca un código en tramas capaz de ser transportada a través de MPLS y que sirva como fuente de contenido para la operadora de televisión.	El tratamiento de las señales	Deductivo	Observacion y Analisis
		Demostrar a través de un diagrama en bloques los componentes macros de mi sistema que se podrían utilizar en la implementación del mismo.	Componentes o equipos	Inductivo	Analisis
		Establecer los requerimientos técnicos de comunicación que se necesitan para el tratamiento de la señal de acuerdo a la necesidad de la operadora de televisión.	Requisitos tecnicos, legales y las preferencias del cliente	Inductivo	Entrevista
		Seleccionar los equipos disponibles en el mercado que cumplan con las características técnicas y cualidades de los bloques identificados; tomando en cuenta los requisitos de la operadora y que cumplan con el proyecto.	Disponibilidad de equipos en el mercado	Deductivo	Analisis
		Diseñar un sistema electrónico que sea capaz de recibir y transformar la señal de tv en tramas de red.	Diseño de sistema	aplicado	Analisis
		Implementar el sistema diseñado de recepción, transformación y envío de la señal de televisión.	Implementacion del sistema	aplicado	Analisis
		Realizar un manual de operación y mantenimiento que permita al personal técnico la manipulación y buen funcionamiento del sistema cuando este en uso.	Requisitos tecnicos	aplicado	Analisis
		Analizar el costo beneficio de la puesta en marcha del sistema.	viabilidad del proyecto	aplicado	Analisis

Fuente. Elaborada por el autor.

## **CAPÍTULO IV**

### **DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

## 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El operador de DTH, tiene recursos para invertir, infraestructura en la cual trabajar y tiene sus equipos en cuartos climatizados apropiados para equipos de telecomunicaciones con todas las medidas de seguridad en el recinto como alarmas, detectores de incendio, e infraestructura como armario, entrepiso, canaletas y sistemas de alimentación por lo que la instalación para los equipos no tiene ningún inconveniente salvo acordar donde, cuando y con qué materiales realizar el sistema.

Para el año 2020, el operador DTH tiene un sistema de recepción de los canales de televisión de tecnología analógica con una antigüedad de 7 años. Recibe las señales de la banda VHF (De 54 MHz a 216 MHz), y también canales de la banda de ultra alta frecuencia (Ultra High Frequency, UHF) (De 470 MHz a 806 MHz), mediante 3 antenas que abarcan todo el espectro mencionado.

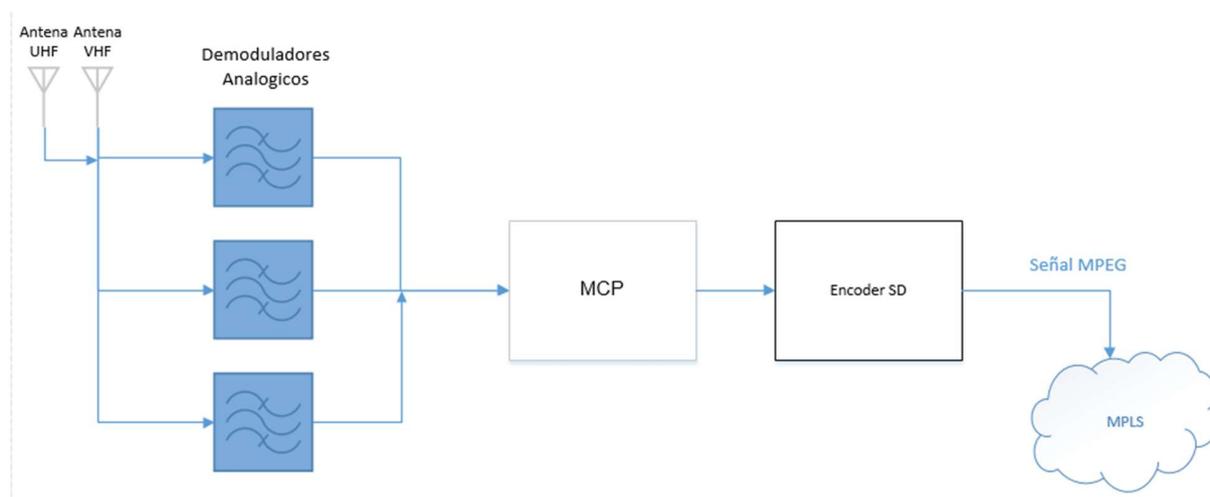
Las 3 antenas se encuentran en un mismo mástil, a 36 metros de altura en la torre auto soportada de 45 metros de altura, propiedad del operador, orientadas al este, hacia el volcán Irazú, cada una cuenta con acoples de impedancia de 75 ohm para normalizar la línea de transmisión. El cable coaxial baja de cada antena individual hasta el interior del edificio.

En el interior en un cuarto de equipos climatizado, se dispone de un armario para el sistema analógico, que se acomodan de acuerdo a las necesidades de la instalación y del operador. Los cables coaxiales entran al armario y se conectan a divisores de RF de la marca Blonder Tongue para su distribución y conexión a demoduladores analógicos

de la misma marca Blonder Tongue, sintonizados de acuerdo a la banda en que se encuentra el canal que se va a recibir.

Se utilizan demoduladores analógicos de la marca Blonder Tongue, una Plataforma de Convergencia de Medios (Media Convergence Platform, MCP) de la marca Selenio, este MCP permite tomar la señal analógica de banda base individual de cada canal y digitalizarla, comprimirla, protocolizarla y multiplexarla, sacando una señal de flujo digital para meterla en un codificador que saca una señal en formato MPEG-2 que permite video en definición SD pero no permite video en HD, la señal MPEG-2 se mete a una interfase de equipo de la red MPLS para su transmisión hasta la Cabecera en El Salvador.

Figura 9. Diagrama de bloques sistema actual.



Fuente. Elaborado por el autor.

Mediante el decreto ejecutivo N°36009-MP-MINAET del 29 de abril 2010, el Poder Ejecutivo adoptó el estándar ISDB-Tb, como la norma aplicable para la implementación de la televisión digital en nuestro país.

Con este decreto Costa Rica inicio su carrera hacia la digitalización de los servicios de televisión pasando del estándar analógica NTSC al estándar digital ISDB-Tb. Al cambiar la forma en que se transmite la señal de televisión terrestre en costa rica el sistema actual queda obsoleto y deberá actualizarse o cambiarse para mantener el servicio.

## **4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para cumplir los objetivos de este proyecto se debe indagar sobre las tecnologías digitales actuales, casas fabricantes de equipos, funcionamiento y características de equipos, además de la compatibilidad con equipos actuales, espacio para los equipos y presupuesto del operador.

Se realizó una visita previa a las instalaciones del operador y entrevistas abiertas a el Gerente General de IDETEL y al Ingeniero de Proyecto de IDETEL.

### **4.2.1 Observación.**

Se realiza una visita a las instalaciones de la operadora de DTH en Heredia para revisar la situación actual, se revisan las antenas, acoples, conectores y el cable coaxial que están en la torre y que lleva la señal al interior del edificio, además en el interior del edificio ver el espacio que dispone la operadora para colocar el equipo, así como los equipos, suministro eléctrico y protección contra descargas atmosféricas y transientes y el recorrido que debe hacer el cable coaxial para llevar la señal a los equipos.

Se revisan las antenas instaladas, todas son antenas yagi, una de ellas está en la banda de UHF, pero por su construcción y diseño no abarca todos los canales de la banda comercial costarricense ni está diseñada para la recepción de señales digitales de televisión.

Se revisa el soporte de antenas (mástil) donde están sujeta las antenas, el metal del mástil está galvanizado por lo que no presenta corrosión o daños, tiene en la parte inferior un espacio libre de un metro y puede servir para sujetar la antena, los cables y conectores del nuevo sistema digital.

La escalerilla donde baja los cables está pintada y en buen estado, también tiene espacio para el cable coaxial que se instalará, se encuentra una barra de tierra tres metros por debajo de las antenas, unida a un tren de tierras y acoplada al sistema de tierras de la torre y se utilizara para aterrizar la antena y cable coaxial.

En la pared del edificio hay un pasacables con ductos de 5 pulgadas por donde pasan los cables coaxiales actuales y que tiene espacio para pasar nuestro cable. En el interior del edificio la escalerilla hasta nuestro armario tiene espacio suficiente para alojar el cable y enrutarlo.

En el armario dispuesto para el sistema se tiene el sistema analógico, se cuenta con 5 demoduladores analógicos Blonder Tongue de la serie AD-1B cada demodulador permite la sintonía de un solo canal de televisión a la vez, y entrega salidas analógicas separadas de audio y video analógico, en estándar SD. Las señales de audio y video se ingresan al MCP donde se digitalizan y saca una señal compuesta demultiplexada de todos los

canales, luego esta señal es ingresada a un codificador Thomson EM1000 para sacar la señal en estándar MPEG-2.

Como el sistema analógico debe seguir trabajando mientras se instala el nuevo equipo, la señal de las antenas debe seguir llegando a los demoduladores analógicos, por lo que es importante no dañarlas o desconectarlas mientras instalamos nuestros equipos. De igual manera se debe prestar atención a no desconectar ningún cable o apagar algún equipo que está en el sistema.

La alimentación esta provista en la parte trasera del rack con un tomacorriente que entrega 110 voltios, y un acondicionador de tensión marca Panduit. Todo aterrizado y normalizado a los estándares requeridos por los equipos.

#### **4.2.2 Entrevista.**

Para esta investigación se aplicaron 2 entrevistas al gerente y al ingeniero de proyectos de IDETEL que tienen amplia experiencia en proyectos de telecomunicaciones y están en la primera línea hablando con el cliente y con los proveedores. Las entrevistas se localizan en el anexo 1. De las entrevistas se obtiene la siguiente información.

El sistema radiante; antena, acoples, cable coaxial y divisores son la parte más importante porque es la parte que más falla en los sistemas de recepción de televisión, seleccionar materiales de calidad, manipularlos correctamente y hacer una instalación de acuerdo a los estándares del proveedor evita problemas en este punto y facilita la implementación y disminuye los problemas de recepción.

Nada del sistema actual se puede utilizar porque son equipos diseñados para captar señales analógicas de televisión. La antena ideal para el nuevo sistema, es una antena logarítmica periódica por el relieve del valle central se debe usar una antena de 8 dB de ganancia mínima, que tenga todo el rango de frecuencias de la banda y pueda captar cualquier canal que actualmente pide la operadora y cualquier otro que el futuro pueda necesitar.

Los canales de la banda VHF ya no serán utilizados, por tanto, lo que antes eran los nombres de los canales ya no corresponden a los canales digitales en señal abierta, aunque el nombre del canal permanezca como canal 7, este ya no se transmitirá por el canal siete de la banda VHF, sino que lo hará por el canal 18 de la banda UHF.

Algunos canales de televisión pueden y serán recibidos por el operador a través de un enlace dedicado de fibra óptica, pero se desea que se reciban por aire también para tener un respaldo por si la fibra óptica falla, en algunos otros canales no hay enlace dedicado por lo que la señal de aire es la única manera de recibirlos. El incentivo para implementar este sistema es poder recibir los canales en alta definición cosa que no es posible en el sistema analógico.

IDETEL debido a sus relaciones comerciales con varias marcas le presentara a la operadora la solución con la marca y equipos definidos tomando en cuenta los beneficios para IDETEL y las ventajas que ofrecen los proveedores en cuanto a respaldo técnico. La operadora recibe la oferta y decide si se implementa, también puede rechazar la oferta en pleno o acordar usar algún otro equipo manteniendo el proyecto con IDETEL.

Los equipos que se instalaran vienen preconfigurados para la operadora específica y se debe implementar la instalación en sitio y la configuración de los equipos serán particulares del operador como las direcciones ip y las ranuras de tiempo de la multiplexación y otras configuraciones serán las frecuencias a las que operan las televisoras, de esta manera estas configuraciones serán realizadas en sitio por IDETEL con soporte técnico del fabricante.

Para los propósitos de calibración y comisionamiento del sistema radiante se utilizará un analizador de espectro, los demás aspectos a configurar se harán por medio de software como es la configuración de frecuencias, direcciones ip, potencias y ranuras de tiempo de la trama del flujo de transporte.

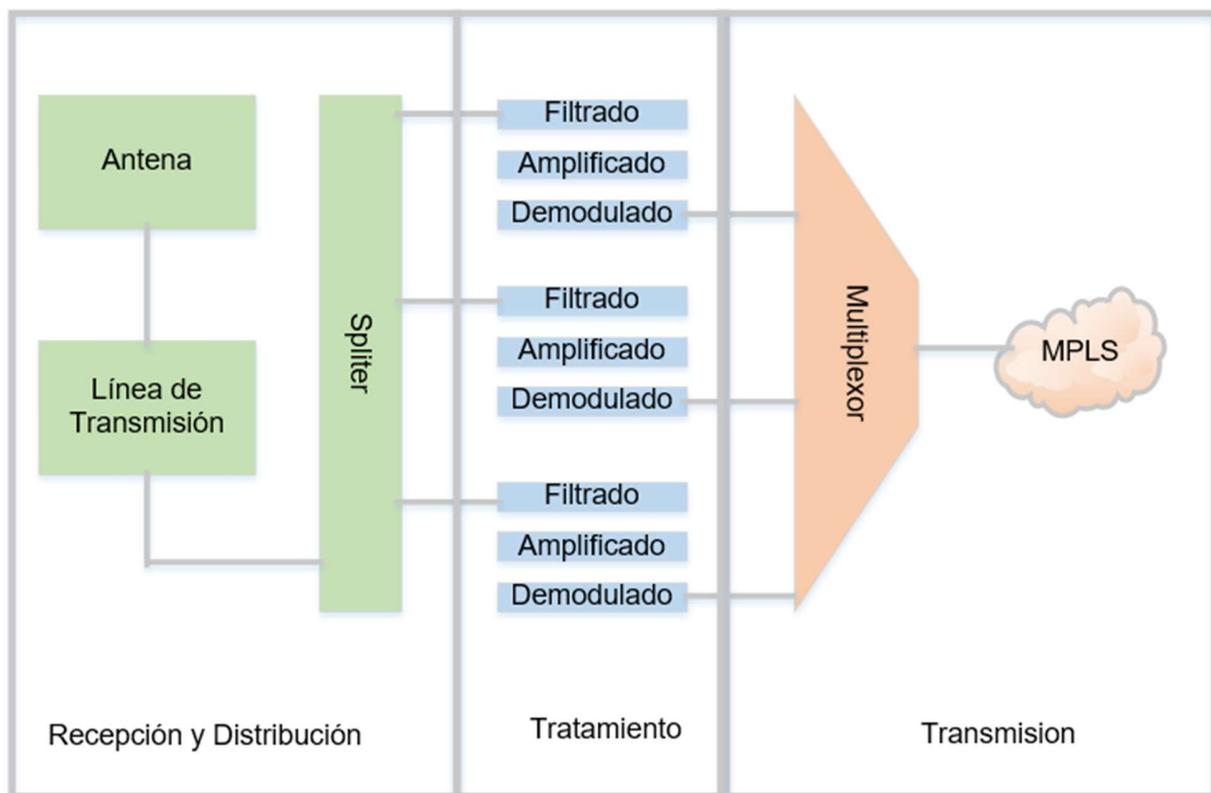
El equipo es libre de mantenimiento una vez instalado, solo necesita reconfigurar las frecuencias si se desea cambiar los canales que se reciban y al estar en un cuarto climatizado no se espera que necesite limpiezas periódicas, el sistema radiante lleva todas las protecciones necesarias contra descargas atmosféricas o inclemencias del clima, por lo que también es libre de mantenimiento.

### **4.3 DESARROYO DEL PROYECTO**

En la figura 10, se muestra un diagrama en bloques para ver las etapas y elementos necesarios para desarrollar el sistema propuesto para que la operadora reciba la señal digital de los canales de televisión abierta de Costa Rica.

Debido a que la información viaja por ondas de radio el primer paso para obtener la señal es mediante una antena diseñada para la banda de frecuencias UHF que transformara la señal electromagnética a señal eléctrica, esta señal será llevada hasta los equipos por un cable coaxial con impedancia igual a la salida de antena unida por conectores, este cable coaxial llegara dentro del cuarto de equipos y ahí se dispondrá de divisores coaxiales de señal que proporcionara la señal a cada sintonizador de forma individual.

Figura 10. Diagrama de bloques de propuesta del proyecto



Fuente. Elaborado por el autor.

La señal completa del espectro es decir todas las señales de los canales llegaran hasta los sintonizadores que discriminaran todas las señales y permitirán pasar la señal individual de un solo canal, esto ayudara a que si en el futuro se desea cambiar el canal que se reciba se pueda hacer con solo modificar los valores de los filtros dentro del sintonizador, esto dice que para cada canal deberemos tener un sintonizador, amplificador y demodulador individual. Luego del filtrado se pasa la señal por un amplificador que regenera la señal que por su naturaleza ha sido debilitada a lo largo de su recorrido, luego de esto la señal esta lista para pasar por el proceso de demodularla, primero se demodula la COFDM, luego se demodula la 64QAM y se obtiene el TS.

El TS debe ser ordenado de acuerdo a las necesidades del operador en un PES que llevara por un solo canal todas las señales obtenidas por lo que se usa un multiplexor para ordenar las señal y se añade información y tablas de codificación, luego de multiplexar las señales se pasa a un codificador que saca la señal en formato MPLS y se inyecta a una interfase dentro de un equipo de transporte de red para que llegue al VOC.

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO**

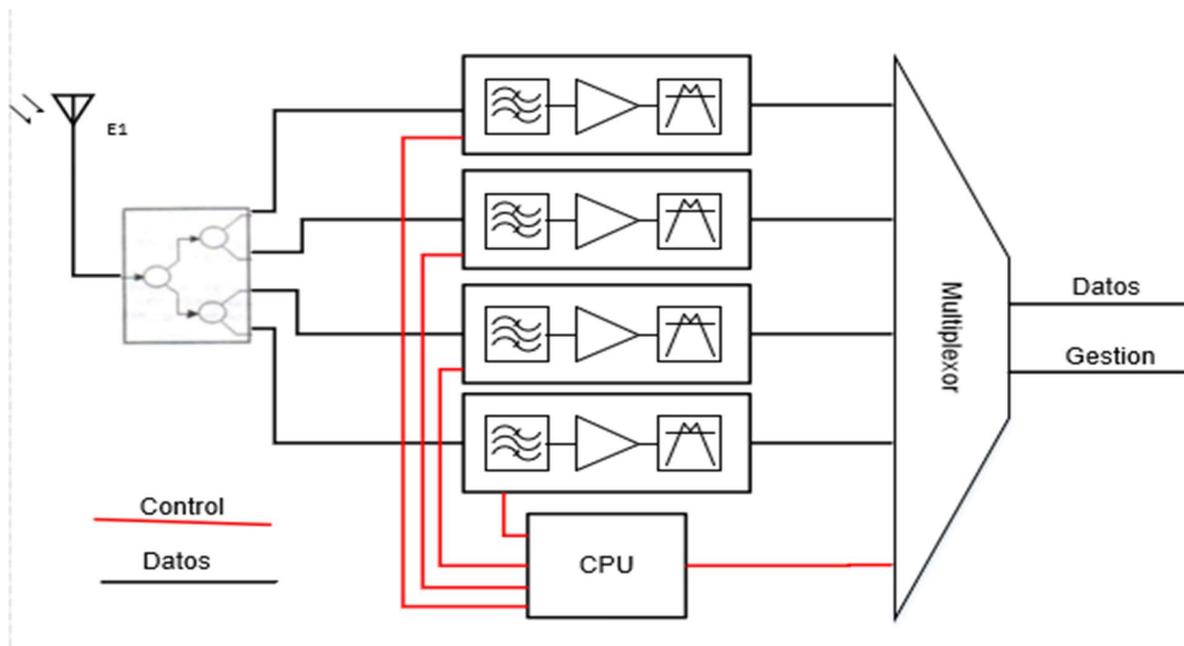
## **5.1 ASPECTOS DE DISEÑO**

La propuesta para este proyecto consiste en un diseño de un sistema para la recepción de señales digitales de televisión abierta en el estándar ISDB-Tb, y su debida implementación, partiendo del hecho que las televisoras nacionales han cambiado la forma de transmitir la señal y la ley condiciona la explotación del servicio DTH, a que se incluyan los canales nacionales.

Luego del estudio del estándar ISDB Tb, de las tecnologías actuales de procesamiento de las señales y en conjunto con los socios comerciales de IDETEL se logra una propuesta de diseño basado en un sistema radiante y divisores de señal, tarjetas receptoras/demoduladoras, un demultiplexor basado en software y una unidad central de procesamiento (CPU), para controlar las tarjetas y el demultiplexor, ordenar las señales y codificar y enmascarar en la capa de transporte el TS.

En la figura siguiente se puede ver el diagrama del sistema propuesto.

Figura 11. Diseño propuesto.



Fuente. Elaborado por el autor.

## 5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se detalla el diseño propuesto para el sistema de recepción de señal digital de televisión abierta, y también la ejecución de la implementación en las instalaciones del operador de televisión DTH, de tal manera que se analizaran las características y funcionamiento de cada uno de los equipos seleccionados.

Para el diseño e implementación del sistema se realiza primero una inspección del lugar. Se determina el lugar donde se colocará los equipos, para esto se debe recomodar los equipos en el rack para hacer espacio de 3 unidades de rack para el equipo nuevo, la

disponibilidad de enchufes de energía eléctrica es suficiente para alimentar los equipos nuevos y la carga no sobrepasa la capacidad de corriente eléctrica del rack y en la torre hay espacio para colocar la antena UHF seleccionada.

## **5.2.1 Recepción y distribución.**

### **5.2.1.1 Antena.**

Para la escogencia de la antena se debe tomar en cuenta criterios técnicos de forma que cumplan con los requisitos necesarios para captar las frecuencias de la banca UHF de televisión comercial costarricense y también que su factor de forma se adapte a la torre de comunicaciones que el cliente destinó para este proyecto.

Se tomaron en cuenta cuatro tipos o arreglos de antena que cumplen con los criterios técnicos las cuales son:

- La antena matriz reflectiva.
- La antena discónica.
- La antena corbata de moño.
- La antena de dipolos logarítmica periódica (LPDA).

y para la toma de decisión se construyó la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6. Comparación de antenas.

Comparación de antenas				
Característica	LPDA	Corbata de moño	Discono	Matriz reflectante
Factor de forma	Pequeña	Pequeña	Pequeña	Grande
Banda	Multibanda	Multibanda	Multibanda	Multibanda
Patrón de radiación	Direccional	Omnidireccional	Omnidireccional	Direccional
Ganancia	8 dB en VHF	7 dB	7 dB	5 dB en VHF
Polarización	Horizontal/Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal/Vertical
Alcance	Largo	Corto	Corto	Largo
Intensidad de campo	Alto	Bajo	Bajo	Alto
Relación adelante-atrás	35 dB	N/A	N/A	18 dB

Fuente: Elaborado por el autor.

Se toman estos 4 tipos de antenas porque todas son multibandas, se descarta primero la antena Discono pues desde su invención su aplicación ha sido para uso en la banda aeronáutica, tiene un alcance corto de pocos kilómetros y esto también está relacionado con su campo de intensidad bajo.

Se descarta la antena Corbata de moño, por su corto alcance y bajo campo de intensidad sumado a estas características esta la dificultad para instalarla en una pata de la torre a media altura que tiene previsto el cliente ya que por su factor de forma debería ser instalada en la parte alta de la torre, este espacio está reservado para las antenas sectoriales de telefonía celular y no es viable hacer la instalación.

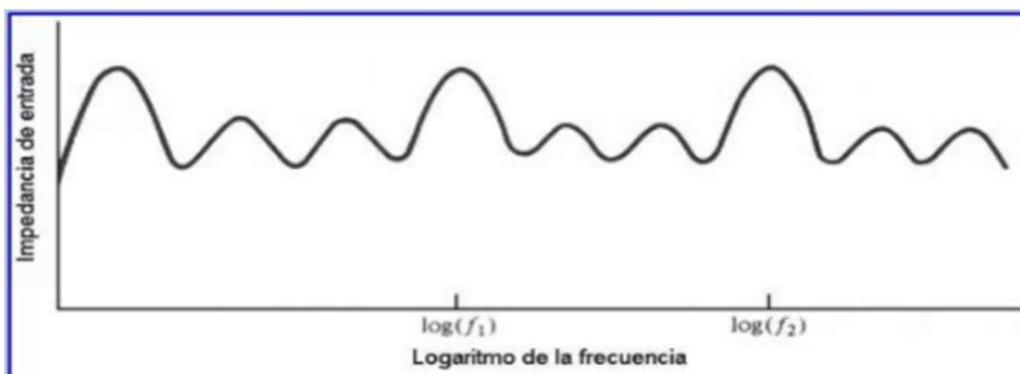
Se descarta la antena matriz reflectante por su factor de forma muy grande, menor ganancia y menor relación adelante atrás; comparada con la antena logarítmica periódica.

La antena LPDA es la que mejor se adapta a las necesidades, es polarizable de acuerdo a las emisiones de los canales de televisión, presenta la mayor ganancia de las antenas comparadas y la mayor relación adelante-atrás, un largo alcance y una intensidad de campo alta.

Es un arreglo de múltiples dipolos alimentados de manera alternativa a través de una línea de transmisión común, presentando una elevada ganancia y un gran ancho de banda.

La geometría de esta antena se escoge para que sus propiedades eléctricas se repitan periódicamente con el logaritmo de la frecuencia.

Figura 12. Logaritmo de una frecuencia.



Fuente: Elaborado por el autor.

Es la evolución de la antena yagi, donde la frecuencia más baja es determinada por el elemento más largo y la frecuencia más alta por el elemento más pequeño, está compuesta por elementos radiantes cuyas distancias mutuas y frecuencias resonantes se hayan en progresión geométrica.

El elemento receptor cambia continuamente dependiendo de la frecuencia, donde en la frecuencia más baja de operación, el elemento más largo es resonante y el resto de elementos son directores. En la frecuencia más alta el elemento resonante es el más pequeño y el resto de elementos actúan como reflectores. La banda de operación está determinada por las frecuencias a las cuales el dipolo más grande y el más pequeño resuenan.

Para el cálculo y diseño de una LPDA se debe tomar en cuenta el factor de escala ( $\tau$ ) y el factor de espaciamento ( $\sigma$ ) que se dan en la siguiente tabla según la ganancia requerida de la antena.

Tabla 7. Referencia de ganancia para diseño de una LPDA

Ganancia (dBi)	Factor de escala $\tau$ (adimensional)	Factor de espaciamento $\sigma$ (adimensional)
7	0.782	0.138
8	0.865	0.157
9	0.918	0.169
10	0.943	0.179
11	0.964	0.185

Fuente. <https://www.slideshare.net/>

Para el cálculo y dimensionamiento de la antena se utilizan los siguientes parámetros,

Frecuencia de corte alto ( $F_h$ ) = 806 MHz

Frecuencia de corte bajo ( $F_i$ ) = 470 MHz

Ganancia = 8 dBd

como la tabla anterior está dada para dBi se le suma 2.15 dB a la ganancia en dBd y se obtiene la ganancia en dBi.

Ganancia  $\cong$  10 dBi

$\tau = 0.943$

$\sigma = 0.179$

$C = 3 \times 10^8$  m/s.

$R_{in} = 75 \Omega$ .

Para el cálculo del ángulo del vértice de la antena, se utiliza la Ecuación 5.1.

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{(1-\tau)}{4\sigma} \right] \quad (5.1)$$

Donde,

$\alpha$  es el ángulo de vértice ( $^{\circ}$ , grados)

$\tau$  es el factor de escala (adimensional)

$\sigma$  es el factor de espaciamento (adimensional)

Sustituyendo los parámetros seleccionados en la ecuación 5.1 se obtiene

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{1 - 0.943}{4 \cdot 0.179} \right] = 4.55^{\circ}$$

Para el cálculo del factor de ancho de banda, se utiliza la Ecuación 5.2.

$$B = \frac{F_h}{F_i} \quad (5.2)$$

Donde,

$B$  es el factor de ancho de banda (adimensional)

$F_h$  es la frecuencia de corte alto (MHz)

$F_i$  es la frecuencia de corte bajo (MHz)

Sustituyendo los parámetros seleccionados en la ecuación 5.2 se obtiene,

$$B = \frac{806 \text{ MHz}}{470 \text{ MHz}} = 1.715$$

Para el cálculo del factor de ancho de banda en la región activa, se utiliza la Ecuación 5.3.

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1 - \tau)^2 \cot \alpha \quad (5.3)$$

Donde,

$B_{ar}$  es el factor de ancho de banda de la región activa (adimensional)

$\tau$  es el factor de escala (adimensional)

$\alpha$  es el ángulo de vértice ( $^\circ$ , grados)

Sustituyendo los parámetros seleccionados en la ecuación 5.3 se obtiene,

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1 - 0.943)^2 \cot(4.55^\circ) = 1.414$$

Para el cálculo de longitud de onda máxima, se utiliza la Ecuación 5.4.

$$\lambda_{max} = \frac{C}{F_i} \quad (5.4)$$

Donde,

$\lambda_{max}$  es la longitud de onda máxima (metros)

$C$  es la velocidad de la luz (m/s)

$F_i$  es la frecuencia de corte bajo ( $s^{-1}$ )

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.4, se obtiene,

$$\lambda_{max} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{470 s^{-1}} = 0.64 m$$

Para el cálculo del factor del ancho del diseño, se utiliza la Ecuación 5.5.

$$B_s = B \times B_{ar} \quad (5.5)$$

Donde,

$B_s$  es el factor de ancho de banda de diseño (adimensional)

$B$  es el factor de ancho de banda (adimensional)

$B_{ar}$  es el factor de ancho de banda de la región activa (adimensional)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.5, se obtiene,

$$B_s = 1.715 \times 1.414 = 2.425$$

Para el cálculo de la longitud teórica del mástil, se utiliza la Ecuación 5.6.

$$L = \left( \frac{\lambda_{max}}{4} \right) \left( 1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot(\alpha) \quad (5.6)$$

Donde,

$L$  es la longitud teórica del mástil (metros)

$\lambda_{max}$  es la longitud de onda máxima (metros)

$B_s$  es el factor de ancho de banda de diseño (adimensional)

$\alpha$  es el ángulo de vértice ( $^\circ$ , grados)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.6, se obtiene,

$$L = \left( \frac{0.64 \text{ m}}{4} \right) \left( 1 - \frac{1}{2.425} \right) \cot(4.55^\circ) = 1.18 \text{ m}$$

Para el cálculo de los elementos resonantes con que contara la antena se utiliza la Ecuación 5.7,

$$N = 1 + \left[ \frac{\ln B_s}{\ln \left( \frac{1}{\tau} \right)} \right] \quad (5.7)$$

Donde,

N es el número de elementos de la antena (adimensional)

$B_s$  es el factor de ancho de banda de diseño (adimensional)

$\tau$  es el factor de escala (adim.)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5,7, se obtiene,

$$N = 1 + \left[ \frac{\ln (2.425)}{\ln \left( \frac{1}{0.943} \right)} \right] = 16.2$$

$$N \cong 16$$

Para el cálculo de la longitud del dipolo de la frecuencia menor, se utiliza la Ecuación 5.8.

$$l_{max} = \frac{\lambda_{max}}{2} \quad (5.8)$$

Donde,

$l_{max}$  es la longitud del dipolo de la frecuencia menor (metros)

$\lambda_{max}$  es la longitud de onda máxima (metros)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.8, se obtiene

$$l_{max} = \frac{0.64 \text{ m}}{2} = 0.32 \text{ m}$$

Con  $l_{max}$  podemos determinar las longitudes de los dipolos sucesivos a partir de la Ecuación 5.9,

$$l_n = \tau \cdot l_{n-1} \quad (5.9)$$

Donde,

$l_n$  es la longitud de dipolo sucesivo (m)

$l_{n-1}$  se comienza utilizando  $l_{max}$  y se continúa utilizando el resultado obtenido en cada aplicación de la ecuación (metros)

$\tau$  es el factor de escala (adimensional)

Sustituyendo los parámetros de la ecuación 5.9, se obtiene,

$$l_2 = (0.943)(0.32 \text{ m}) = 0.302 \text{ m}$$

Se utiliza la ecuación 5.9 y los resultados sucesivos se obtiene las medidas de los 16 dipolos que conforman la antena, los resultados se muestran en la siguiente tabla

Tabla 8. Medidas de dipolos sucesivos.

Dipolo	Medida	Dipolo	Medida
$l_1$	0.320 m	$l_9$	0.201 m
$l_2$	0.302 m	$l_{10}$	0.190 m
$l_3$	0.285 m	$l_{11}$	0.179 m
$l_4$	0.269 m	$l_{12}$	0.169 m
$l_5$	0.254 m	$l_{13}$	0.159 m
$l_6$	0.240 m	$l_{14}$	0.150 m
$l_7$	0.226 m	$l_{15}$	0.141 m
$l_8$	0.213 m	$l_{16}$	0.133 m

Fuente. Elaborado por el autor

Para el cálculo de la distancia de separación entre dipolos, se utiliza la Ecuación 5.10,

$$d_{n,n+1} = 2\sigma \cdot l_n \quad (5.10)$$

Donde,

$d_{n,n+1}$  es la distancia de separación entre dipolos sucesivos (metros)

$\sigma$  es el factor de espaciamento (adimensional)

$l_n$  es la longitud de dipolo sucesivo (metros)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.10, se obtiene,

$$d_{1,2} = 2(0.179)(0.320 \text{ m}) = 0.1146 \text{ m}$$

Se utiliza la ecuación 5.10 y la longitud de polos sucesivos para obtener la distancia de separación entre dipolos sucesivos, los resultados se muestran en la siguiente tabla

Tabla 9. Distancia entre dipolos sucesivos.

Dipolos sucesivos	Distancia	Dipolos sucesivos	Distancia
$d_{1,2}$	0.1146 m	$d_{9,10}$	0.0720 m
$d_{2,3}$	0.1081 m	$d_{10,11}$	0.0680 m
$d_{3,4}$	0.1020 m	$d_{11,12}$	0.0641 m
$d_{4,5}$	0.0963 m	$d_{12,13}$	0.0605 m
$d_{5,6}$	0.0909 m	$d_{13,14}$	0.0569 m
$d_{6,7}$	0.0859 m	$d_{14,15}$	0.0537 m
$d_{7,8}$	0.0809 m	$d_{15,16}$	0.0505 m
$d_{8,9}$	0.0763 m	-	-

Fuente. Elaborado por el autor.

Para el cálculo de la impedancia de salida, se utiliza la Ecuación 5.11,

$$Z_o = \left( \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \right) R_{in} \quad (5.11)$$

Donde,

$Z_o$  es la impedancia de salida de la antena ( $\Omega$ , ohmios.)

$\sigma$  es el factor de espaciamento (adimensional)

$\tau$  es el factor de escala (adimensional)

$R_{in}$  es la impedancia característica de la línea de tx ( $\Omega$ , ohmios.)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.11, se obtiene,

$$Z_o = \left( \frac{0.179}{\sqrt{0.943}} \right) 75 \Omega = 138 \Omega$$

Para calcular la separación entre directores, se utiliza la Ecuación 5.12.

$$S = d_{max} * \cosh\left(\frac{Z_o}{120}\right) \quad (5.12)$$

Donde,

$S$  es la separación entre directores (metros)

$d_{max}$  es el diámetro del dipolo (metros)

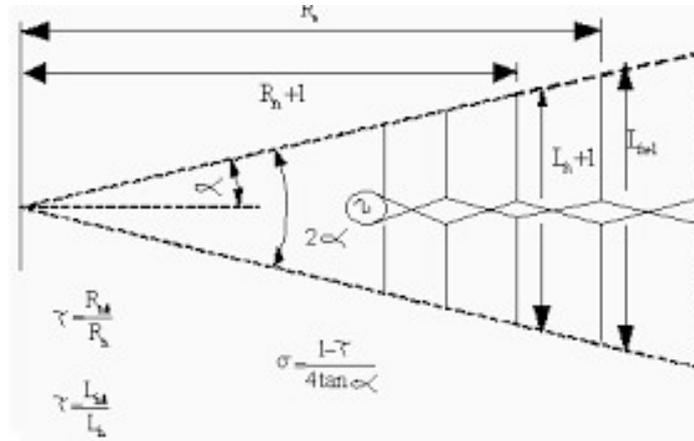
$Z_o$  es la impedancia de salida de la antena ( $\Omega$ , ohmios.)

Sustituyendo los parámetros en la ecuación 5.12, se obtiene,

$$S = 0.00952 \text{ m} * \cosh\left(\frac{138 \Omega}{120}\right) = 0.0165 \text{ m}$$

Mediante los cálculos anteriores podemos determinar las dimensiones de nuestra antena LAPD, que se acomodan en la figura 13.

Figura 13. Dimensiones de antena LAPD.



Fuente. Elaborado por el autor.

Se utiliza en este proyecto una antena de la marca Kathrein, esta marca es reconocida mundialmente como líder en la fabricante de antenas, y la experiencia previa en otros proyectos realizados por IDETEL utilizando la marca nos genera confianza. El modelo CL-1469 es de diseño logarítmico periódico esto lo hace capaz de sintonizar toda la banda de UHF de televisión desde 470 MHz hasta 806 MHz, tiene una impedancia de salida de 75  $\Omega$ .

Figura 14. Antena CL-1469



Fuente. Kathrein Inc.

Es de construcción robusta, posee un radomo que protege la antena del agua y del viento evitando que los componentes se dañen y que la antena se desalinee, su herraje permite que se pueda configurar la polaridad de la onda entre vertical y horizontal, sus características y especificaciones pueden verse en el Anexo 2.

#### **5.2.1.2 Línea de transmisión y divisores de señal.**

La línea de transmisión y los divisores de señal son parte importante en el desempeño del sistema, así como una antena de las características apropiadas es fundamental para recibir la señal, estos componentes son fundamentales para que la señal llegue hasta las tarjetas ISDB Tb sin sufrir interferencias o atenuaciones mayores a las permitidas.

Estos componentes pasivos guardan gran relación con la calidad de la señal recibida por el sistema, por lo tanto, su correcta selección determina que no tengamos problemas con las señales.

Se debe escoger un cable de impedancia característica de  $75\Omega$ , con malla construida y dieléctrico de material pensado para aplicaciones de audio y video en HD, para uso en exteriores, para usarse con frecuencias de hasta 5 GHz y de grado profesional

Para nuestro sistema se escoge como línea de transmisión el cable coaxial VHD1100 de la marca Gepco por ser construido especialmente pensado para aplicaciones de audio y video digital, su construcción y cubierta permite una muy baja atenuación y pérdidas de retorno, y permite anchos de banda de 4.5 GHz para HDTV, los demás detalles del componente pueden ser vistos en el anexo 3.

Figura 15. Cable coaxial.



Fuente. Gepco Internacional.

El divisor de señal debe ser de buena construcción, que no permita pérdidas por unión mayores a 0.5 dB y de grado profesional; se escogió la marca Blonder Tongue los cuales tiene componentes de alta calidad, baja pérdida por puerto, son de grado troncal y los puertos son construidos con oro y su carcasa es de Zinc.

Figura 16. Divisor coaxial



Fuente. Blonder Tongue.

## 5.2.2 Tratamiento de la señal

### 5.2.2.1 Tarjetas ISDB Tb.

Para seleccionar nuestro demodulador digital de televisión se debe tomar en cuenta algunos requisitos del cliente y aplicaciones que soporta el estándar y que podría aprovechar el cliente para su despliegue de las señales.

Para seleccionar nuestro demodulador digital de televisión se debe tomar en cuenta que demodule señales del estándar ISDB Tb y se adapte a la escalabilidad vertical, con esto en mente buscamos en el mercado y encontramos equipos que comparamos y mostramos en la siguiente tabla comparativa.

Tabla 10. Comparación de tarjetas demoduladoras.

Tarjeta PCI	Sintonizadores por tarjeta	Rango de frecuencia	Ancho de banda de canal	Modulación permitida	Codificación de audio	Codificación de video
DTA 2131	1	42 MHz hasta 870 MHz	5, 6, 7, 8, 10 MHz	64 QAM	MPEG-2 audio (AAC)	MPEG-2, MPEG-4
TBS 6814	4	78 MHz hasta 860 MHz	6, 7, 8 MHz	64 QAM, 16QAM, QPSK, DQPSK	MPEG-2 audio (AAC)	MPEG-2
MAX A8i	8	51 MHz hasta 858 MHz	6, 7, 8 MHz	16, 64, 256, 1024, 4096 QAM	MPEG-2 audio (AAC)	MPEG-2, MPEG-4, 4K, 8K

Fuente. Elaborado por el autor.

La tarjeta DTA 2131 es la que ofrece un solo sintonizador por tarjeta, por lo que la característica de escalabilidad vertical se ve comprometida pues se necesitaría mayor número de tarjetas y varios chasis para alojar las tarjetas, además de más espacio y mayor cantidad de cables coaxiales y divisores de señales, por estas razones se descarta.

La tarjeta MAX A8i es la más robusta y la que ofrece mayor cantidad de sintonizadores por tarjeta, además de una amplia gama de demodulaciones y mejores características de desempeño, pero por su poder de procesamiento requiere un sistema de enfriamiento dedicado dentro del chasis y el enfriamiento que provee el cliente en su cuarto de equipos es insuficiente por lo que su funcionamiento se ve comprometido en el escenario actual y demandaría un gasto extra en equipos de enfriamiento para su despliegue.

La tarjeta TBS6814 ofrece 4 sintonizadores por tarjeta, no requiere sistema de enfriamiento dedicado para su funcionamiento, es una tarjeta construida para ISDB Tb exclusivamente, aunque tiene menor capacidad de video que la MAX A8i, por su relación rendimiento precio es la mejor opción para ofrecer al cliente un producto de calidad, con una buena escalabilidad vertical inicial y desempeño deseado.

Se escoge la tarjeta TBS por sus características, relación rendimiento precio y no necesita adecuaciones en enfriamiento para su operación.

Figura 17. Tarjeta demoduladora ISDB Tb.



Fuente. TBS.

### 5.2.2.2 Chasis DVEO

La escogencia del Demultiplexor, codificador y enmascarador de TCP/IP se centra en un equipo modular que pueda hacer todas las cosas, en el mercado existen equipos que llevan a cabo cada etapa por separado pero ocuparan muchas unidades de rack y en precio el presupuesto seria elevado, por otra parte existen equipos que con uso de software y programas dedicados pueden realizar todas estas funciones ocupando no más de 3 unidades de rack y que pueden ser actualizados a las mejoras del estándar de ISDB-Tb, por ejemplo en la actualidad el estándar para Costa Rica dice que las imágenes tienen un formato de MPEG-2, en Japón el estándar permite transmitir imágenes en 4K, si en algún momento eso llega a ser una realidad en Costa Rica se podrá actualizar el software en vez de comprar otros equipos, así los equipos que usan programas de cómputo no quedan obsoletos.

La tendencia del mercado es encontrar cada etapa de tratamiento de la señal por separado en equipos modulares de 1 o 2 unidades de rack que funcionan con circuitos electrónicos. Estos equipos son grandes y con un rango de precios altos.

En los últimos años con el avance de la virtualización y programas de computadora que emulan circuitos electrónicos por medio de algoritmos se puede hacer que un programa de cómputo ejecute estas funciones y trate la señal de la misma manera que lo hacen los circuitos físicos.

Como uno de los requisitos del cliente es que el equipo no ocupe mucho espacio se le da la opción de usar equipos que trabajan sobre programas de computadora, para este caso tenemos varias opciones en el mercado mundialmente reconocidos y confiables.

Por ser programas de computadora se podría utilizar una tarjeta madre de una marca reconocida comercial; ASUS, ASRock, Biostar, entre muchas y procesadores de la marca Intel o AMD y armar un chasis de dimensiones apropiadas para la aplicación del proyecto.

Tomando en cuenta que nuestros equipos son para uso comercial y profesional, debemos usar componentes de alto desempeño y confiabilidad para trabajar 24/7 por muchos años y que no deba quedar obsoleto en menos de 10 años por lo que se debe adquirir equipos de gama alta.

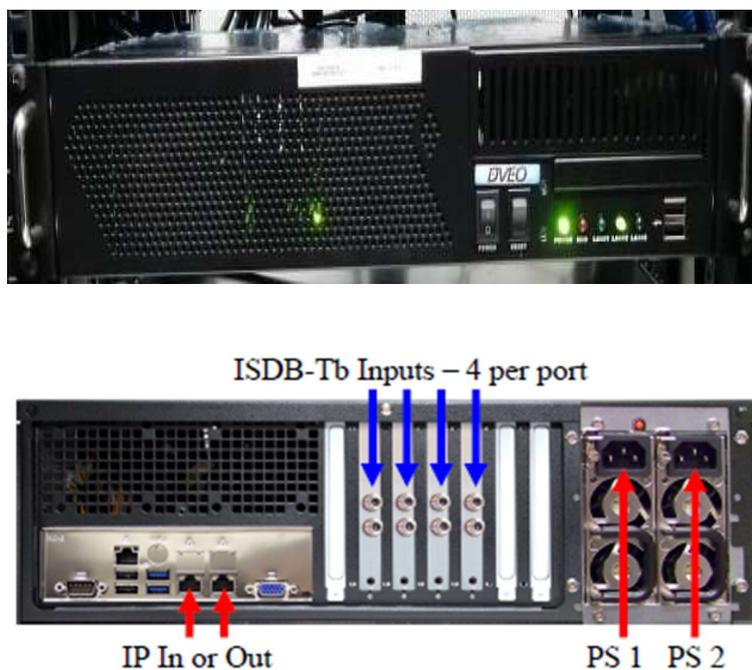
El programa de cómputo para controlar las tarjetas demoduladores también existe en uso amateur con programas basados en Windows para entusiastas o pequeñas aplicaciones con poca demanda de usuarios como hoteles o condominios y sin requerimientos de calidad de servicio.

Para aplicaciones de grado profesional como la nuestra se utilizan programas más confiables, se utilizará programas y equipos que este comprobado su desempeño.

Tomando todo eso en cuenta, y debido a que no podemos fallar en este punto al escoger los equipos y los programas de cómputo, volvemos a la experiencia comprobada de nuestros proveedores y encontramos en DVEO, una aplicación que cuenta con componentes y programas ya comprobados.

En esta aplicación se utilizará el Chasis de DVEO, Gearbox II que está construido pensado para aplicaciones de audio y video, trabajar por tiempo continuo de años y un programa propietario basado en componentes Intel y sistema operativo Linux, de gama profesional, doble fuente de poder y altos estándares que nos garantizan un desempeño y despliegue sin problemas, sus características y detalles se pueden ver en el anexo 4.

Figura 18. Chasis DVEO.



Fuente. DVEO.

## 5.2.3 Transmisión de la señal

### 5.2.3.1 Cisco ME 3400

El equipo que transporta los datos a través de la red usando la técnica MPLS es parte de los activos con que cuenta la operadora de DTH, pero debe ser considerada en el diseño de este sistema pues se alimenta directamente de una interfase que sale del multiplexor con los datos que van al VOC.

En la figura 17. Se puede observar una imagen del equipo de transporte un conmutador CISCO ME 3400, además se puede encontrar la ficha técnica en el anexo 5 (Ficha técnica CISCO ME 3400) de la cual se desprende características importantes.

Figura 19. Switch CISCO ME 3400.



Fuente. CISCO.com

Los conmutadores ME 3400 ayudan a los proveedores de servicio a ofrecer servicios rentables y diferenciados, en los cuales se incluyen las VPN en capa 2 y 3. Entre sus beneficios incluyen el control sobre diferentes tecnologías de transporte, calidad de servicio avanzada y alta seguridad. La función Multi-VRF CE proporciona una función de tablas separadas de enrutamiento para asegurar la información.

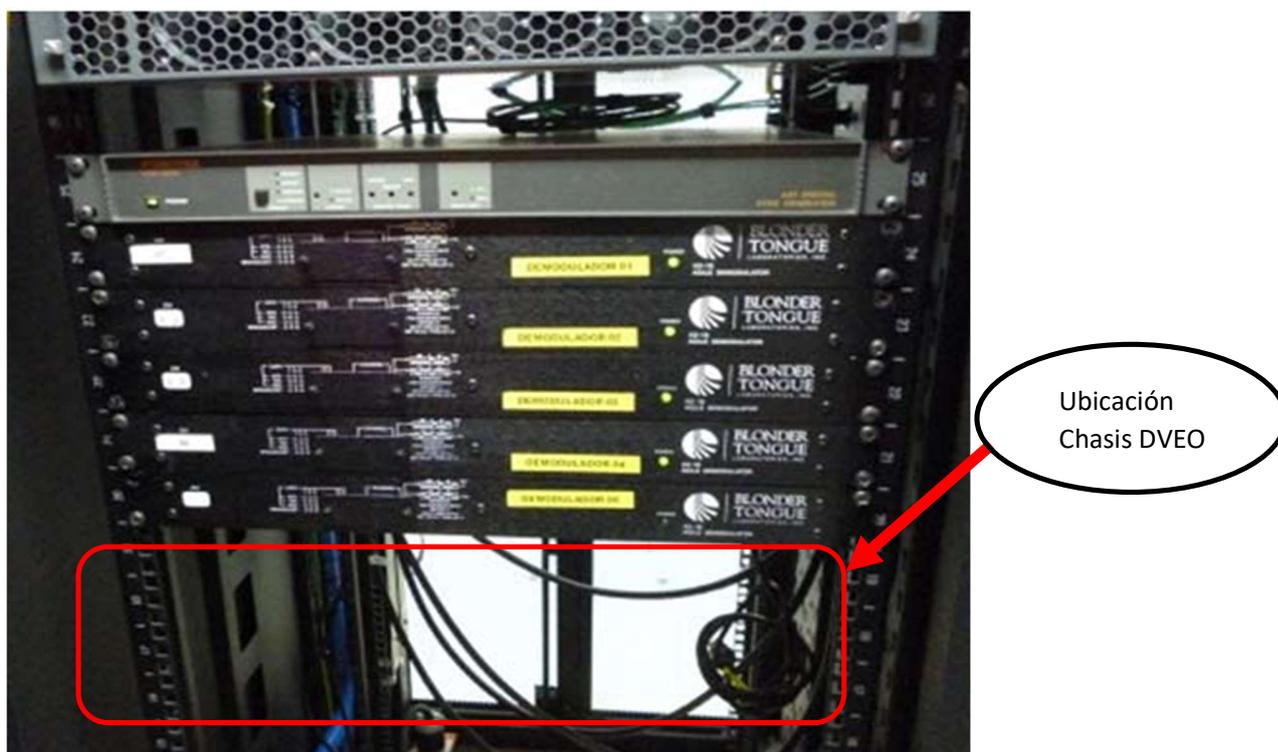
### **5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Una vez tenido el diseño del sistema y los equipos escogidos, se ejecuta el proceso de implementación y puesta en marcha. Este proceso se tuvo que realizar con sumo cuidado tomando en cuenta que se trabajaba en el mismo rack donde está el sistema analógico y bajo el riesgo de afectar el servicio actual y debido a políticas del cliente todos los trabajos se realizaron a partir de las 12 media noche exceptuando la instalación de la antena y los trabajos en torre.

El lugar donde fueron colocados los equipos fue decisión del cliente, se decide ubicar el Chasis DVEO Gearbox II, que alberga las tarjetas demoduladoras debajo de los demoduladores analógicos, esto porque ahí hay espacio y de esta manera no se mueven los demoduladores analógicos ni sacamos de operación el sistema analógico, además debido al bajo factor de forma el sistema digital ocupara solo 3 unidades de rack por lo que su ubicación resulta sencilla de implementar.

En la siguiente fotografía se muestra el lugar donde se colocará el Chasis DVEO, el cable coaxial ingresará al rack por la parte superior y se ubicará el divisor de señal al costado izquierdo visto el rack de frente.

Figura 20. Lugar de colocación DVEO.



Fuente. Elaborado por el autor

Primero se instalará el Chasis DVEO con las tarjetas demoduladoras, luego se colocará el divisor de señal a la misma altura del Chasis DVEO, para facilitar la conexión de las tarjetas. Luego se harán los cables coaxiales a medida con los conectores que irán del divisor de señal a las tarjetas, cada cable tiene una medida diferente pues las tarjetas demoduladoras y los puertos en el divisor están a distancias distintas.

Finalmente en el exterior se debe colocar la LADP en la torre a una altura de 36 metros con su lóbulo principal de radiación hacia el este en dirección al Volcán Irazú, se instalara el cable coaxial y se sellara el conector con material aislante (cinta de goma y cinta eléctrica) para protegerlo de la intemperie, se bajara el cable y se pasara por un

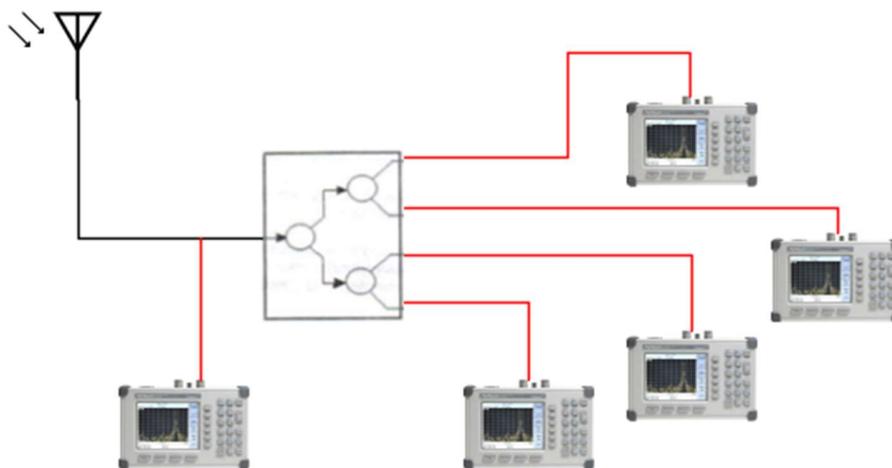
pasamuros, llevándolo por una escalerilla de cables hasta el bastidor de los equipos, se bajara el cable hasta el divisor y se hará el conector para que la señal llegue a las tarjetas.

Una vez lista la instalación física de los equipos y antenas se procede con la revisión de la antena y línea de TX para ello utilizamos un analizador de espectro Anritzu MS8911B y se procede con la configuración del equipo conforme al sistema, a continuación, se describe el orden de ejecución.

### 5.3.1 Revisión de la antena y línea de Transmisión.

Inicialmente se coloca el analizador a la salida coaxial directamente de la antena, aquí se miden los canales que vamos a integrar al sistema, sus niveles y patrones de modulación, luego se van tomando medidas de las 8 salidas del divisor de señal, finalmente se toman medidas de las salidas de cada cable que van a las tarjetas demoduladoras.

Figura 21. Puntos de medición del sistema radiante.



Fuente. Elaborado por el autor.

Figura 22. Mediciones en sitio.



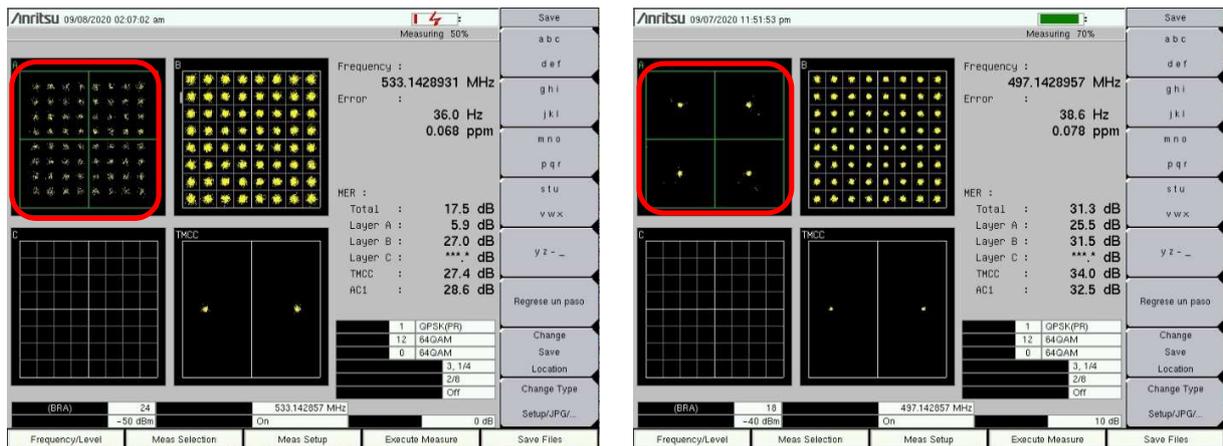
Fuente. Elaborado por el autor

Durante esta etapa encontramos algunos problemas en las señales recibidas que no eran problemas de nuestros equipos, los pasamos a detallar a continuación.

La señal de canal 29 presenta problemas, las imágenes se congelaban y presentaba “pixelado”, luego de la revisión con el analizador de espectro se encontró que la demodulación utilizada por el canal no cumple con el estándar ISDB Tb y la figura 21, nos muestra a la izquierda la señal recibida de canal 29 y a la derecha la señal recibida de canal 7, encerrado en un círculo podemos apreciar que la constelación de canal 29 muestra señales de 64QAM pero debería mostrar señales de QPSK que son las que

permiten la sincronía, por ser problemas de origen no se pueden solucionar en nuestro sistema.

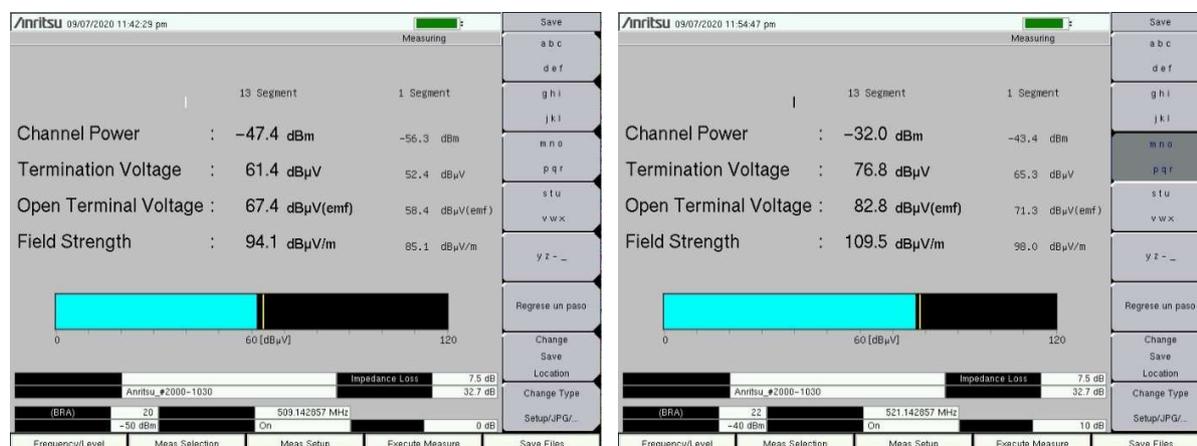
Figura 23. Comparación señal canal 29 y señal canal 7.



Fuente. Elaborado por el autor.

Otro problema con el que tuvimos que lidiar fue con la señal del canal 13 Sinart se observaba la señal pixelada y baja resolución de las imágenes, después de las mediciones encontramos que presenta niveles más bajos que la de las demás televisoras como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Comparación de niveles de señal entre canal 13 y canal 6.

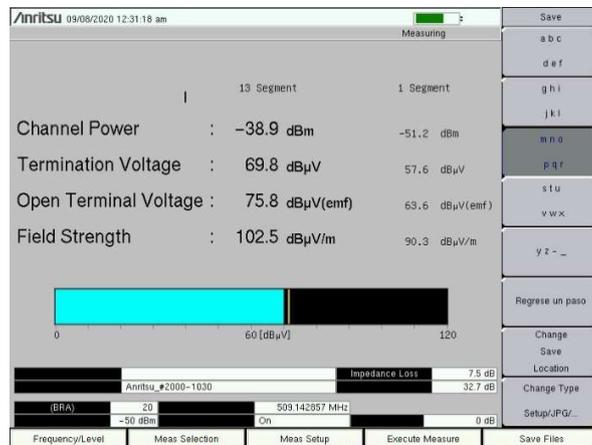


Fuente. Elaborado por el autor.

Luego de conversar directamente con el departamento técnico de Sinart canal 13, nos dijeron que habían tenido que mover sus equipos de transmisión a la torre de repretel, debido a los deslizamientos que están ocurriendo en el volcán Irazú, por lo que la cobertura hasta la zona de Heredia donde está ubicada nuestra torre estaba un poco comprometida, (por ese motivo nuestra comparación es con la señal de repretel cuyos equipos están en la misma torre)

Pero además nos dijeron que los transmisores que ellos utilizaban eran de 1 Kilo-Watt de potencia cuando lo normal en los demás canales por el relieve del valle central es de 2 Kilo-Watt por lo tanto el problema de señal débil era directamente causada por el origen, para solucionar este problema colocamos un preamplificador externo a la entrada de la tarjeta ISDB Tb que configuramos para canal 13, con un nivel de amplificación de 17 dB, con esto la señal mejoro al punto de quedar en los niveles de los otros canales como lo muestra la figura 25.

Figura 25. Niveles de señal de canal 13 usando el preamplificador.



Fuente. Elaborado por el autor

La figura 26, muestra el amplificador usado para mejorar la señal de canal 13.

Figura 26. Instalación de preamplificador



Fuente. Elaborado por el autor.

### 5.3.2 Configuraciones del sistema

1- Configuración del equipo.

El programa viene precargado de fábrica y gracias a la función de conectar y usar (plug and play) reconoce las tarjetas ISDB Tb. Mediante el puerto de gestión del Chasis se accede al programa que es un desarrollo propio de DVEO, este programa es necesario para configurar la gestión remota, las tarjetas ISDB Tb y el multiplexor.

2- Configuración de parámetros.

A continuación, se muestra las pantallas que configuran la gestión del equipo y hace posible que desde el VOC lo controlen y configuren el sistema.

Figura 27. Configuración de gestión

### LAN: wan

ITEM	VALUE
Interface Mode:	Separate ▼
LAN Name:	wan
LAN DHCP	Disabled ▼ <input type="checkbox"/> Auto-Release
LAN IP Address:	10 . 201 . 4 . 10
LAN Net Mask:	255 . 255 . 255 . 224
IPv6 Address:	<input type="text"/> : <input type="text"/>
IPv6 Net Mask:	128: Single end-points and loopback. ▼
	<a href="#">show additional ips</a>
LAN Bitrate Control (QOS)	Disabled ▼ Max Bitrate (kbps) <input type="text" value="1000000"/>
LAN DSCP Marking	Disabled ▼ Class Value <input type="text"/>

Fuente. DVEO, Gearbox II.

En la siguiente pantalla se muestra la configuración del transporte de los datos que se montan sobre una cabecera IP para llevar todas las señales del TS hacia el VOC.

Figura 28. Configuración puerto de datos

## LAN: lan1

ITEM	VALUE
Interface Mode:	Separate ▼
LAN Name:	lan1
LAN DHCP	Disabled ▼ <input type="checkbox"/> Auto-Release
LAN IP Address:	10 . 224 . 9 . 10
LAN Net Mask:	255 . 255 . 255 . 0
IPv6 Address:	: : : : : : : :
IPv6 Net Mask:	128: Single end-points and loopback. ▼
<a href="#">show additional ips</a>	
LAN Bitrate Control (QOS)	Disabled ▼ Max Bitrate (kbps) 1000000
LAN DSCP Marking	Disabled ▼ Class Value

Fuente. DVEO, Gearbox II

La configuración de los canales de televisión se realiza en 2 pantallas:

1. Se sintoniza la frecuencia del canal en la pestaña "Input Setup", ver figura 29.
2. Se configura el flujo de salida en la pestaña "New Output", ver figura 30.

Figura 29. Pantalla input setup.

The screenshot shows the 'Input Setup' configuration page. The following table summarizes the visible settings:

ITEM	VALUE
Start Mode:	Always On
DVB Name:	CH11
Modulation:	Auto
Tuner Frequency (KHZ):	593000 channel 34
Signal Monitoring Mode:	Disabled
Signal Monitoring Options:	Interval: 5 Second Average Threshold value: 75
RF Tuner:	Enabled
Input Buffer Size (ms):	1000
Audio Delay Adjustment (ms):	0
Keep Output Open:	<input type="checkbox"/>
Closed Caption Type:	708
Use DTS instead of PTS if necessary:	Auto
Audio Resampler:	Auto
Decoder Type:	Auto
Decoder Threads:	Auto
Demuxer Type:	Secondary
Ffmpeg Video Preprocessing:	Mode: Disabled

Callouts from the image:

- Se asigna el nombre del canal y el modo de operación.
- Se selecciona el canal en RF (que puede ser diferente al canal en analógico).
- Se configuro el tipo de demux secundario ya que es mas tolerante a flujos de video en H264

Autor. DVEO, Gearbox II

Figura 30. Pantalla new output

The screenshot shows the 'New Output' configuration page. The following table summarizes the visible settings:

ITEM	VALUE
Output Profile:	None
Enabled:	<input checked="" type="checkbox"/>
Output Name:	CH11
Output Format:	UDP with Transport Stream (TS) envelope
Demux Mode:	Use PATs Program IDs
Input Program ID(s):	22432 or [Program ID #22432 => Video] Scan Input
Excluded Elementary Stream ID(s):	
Audio Language Filter:	Select All
Multicast mode:	Single Multicast per mux
Destination IP:	239.2.16.71
Destination Port:	5001
Output Buffer Size (ms):	300
Valid Input Video Codecs:	MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H264V, HEVC
Valid Input Audio Codecs:	MPEG-1, MPEG-2, MPEG-3, AC3, MPEG4A (H264A), Vorbis (only for Ogg)
Output PID Control:	Auto Assign
Output TTL:	32 Shared Setting
Mux Cache (ms):	500

Callouts from the image:

- El formato de salida se configuro en UDP por el tipo de aplicación.
- En ISDB-Tb se puede transportar más de un programa por lo que hay que seleccionar el PID correcto.
- Dirección IP de Multicast y puerto con la que se va a transportar el servicio.

Fuente. DVEO, Gearbox II.

El proceso se repite para todos los canales, pero tenemos una excepción el canal 6 y 4 de repretel comparten un mismo ancho de banda de 6 MHz, en seguida se muestra la configuración para este caso.

Figura 31. Configuración canal 4 y 6.

The screenshot displays the configuration page for RF channel 6. The interface includes a sidebar with a list of channels and a main configuration area. The configuration area has a table with columns 'ITEM' and 'VALUE'. Several fields are highlighted with red boxes:

ITEM	VALUE
Start Mode	Always On
DVB Name	CH6
Tuner Frequency (KHZ)	521000
channel	channel 22
Demuxer Type	Secondary

An 'UPDATE' button is visible in the top right of the configuration area. A status box in the top right shows system logs: 'up (pid 18640) 67475 seconds (2020-10-30 16:28:07) libdvapi error (PSI decoder): PSI section too long'.

Fuente. DVEO, Gearbox II.

Se configura una sola frecuencia de canal.

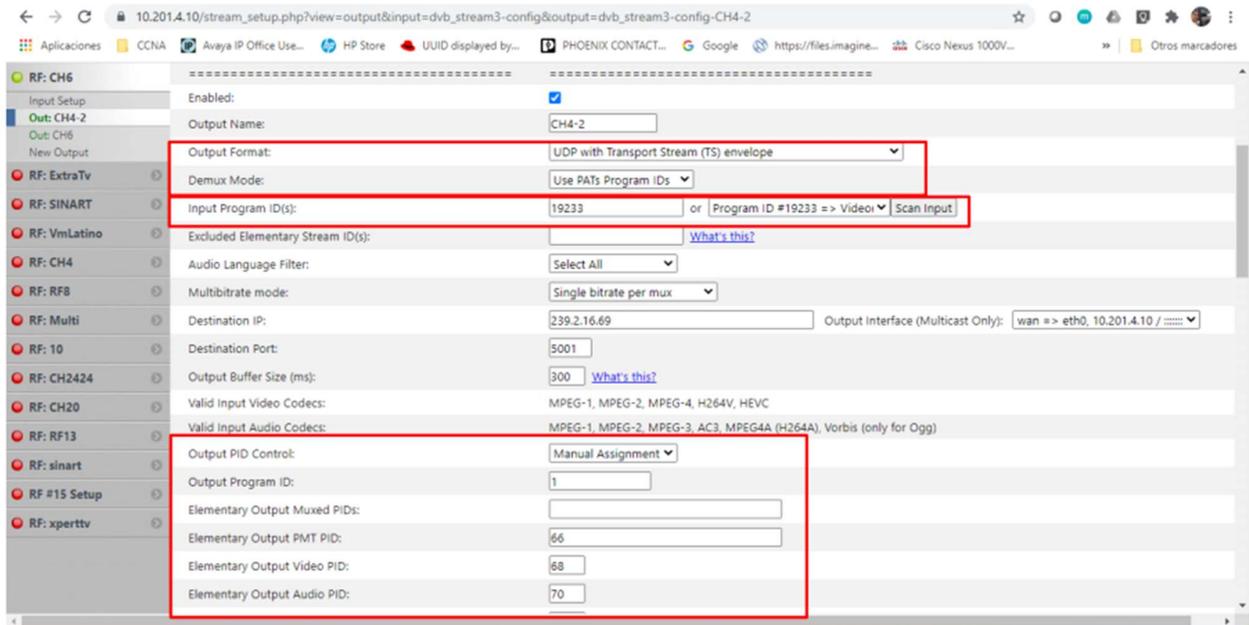
Figura 32. Configuración canal 6.

Para canal 6 y 4 los PID de salida se configuraron de forma manual y no se dejaron dinámicos para evitar que cambios en el Mux del proveedor afecten el servicio.

Fuente. DVEO, Gearbox II

Se separan las señales configurando diferentes identificaciones de programas (PID).

Figura 33. Pantalla configuración canales compartidos.



Fuente. DVEO, Gearbox II.

De esta forma un solo canal digital puede llevar la señal en este caso de 2 canales con videos y audios distintos, en la realidad el estándar ISDB-Tb permite transmitir hasta 4 audios y videos distintos en un mismo canal en formato SD y hasta 3 canales en formato HD.

## 5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

De acuerdo al diseño elaborado, se ha realizado la implementación del sistema receptor de televisión digital con los equipos seleccionados para cumplir con las necesidades del cliente y acatar las leyes del país sobre explotación del servicio de televisión DTH.

De tal manera que se puedan recibir los canales de televisión que cubren más del 60 por ciento del territorio nacional y tienen una programación de más de 15 horas, logrando una mayor calidad de las imágenes transmitidas por el operador, logrando mantener la concesión, disminuyendo los tamaños de los equipos y logrando un sistema de escalabilidad vertical.

Con respecto a los equipos instalados, se puede observar en la figura 34, la antena logarítmica periódica que quedó instalada a 36 metros de altura, en la torre de comunicaciones, para cumplir con lo diseñado y poder captar las señales de la banda VHF de 470 MHz a 806 MHz.

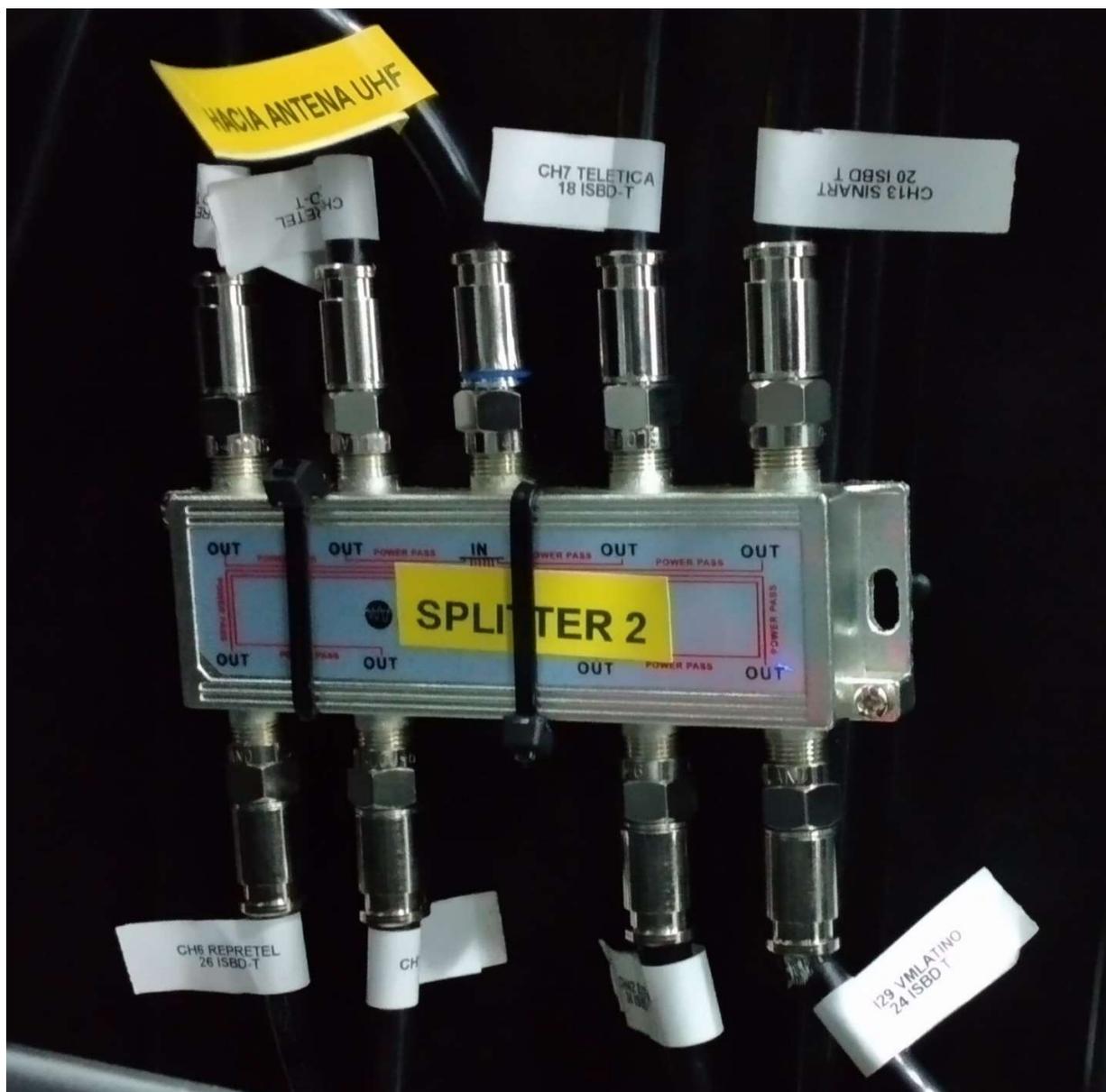
Figura 34. Antena logarítmica periódica instalada en torre.



Fuente. Elaborado por el autor.

En la figura 35 podemos ver el divisor de señal que distribuye la señal a las tarjetas ISDB Tb, el cable coaxial que viene de la antena llega al puerto de entrada y distribuye la señal a las cuatro tarjetas TBS de doble entrada.

Figura 35. Divisor de señal.



Fuente. Elaborado por el autor.

En la figura 36 podemos observar la vista trasera del Chasis DVEO, con las tarjetas ISDB Tb instaladas y conectadas.

Figura 36. Vista trasera de chasis DVEO, Gearbox II.



Fuente. Elaborado por el autor.

En la figura 37 observamos una vista general de la parte trasera del rack donde están los equipos que comparten espacio con los módulos del sistema de recepción analógico.

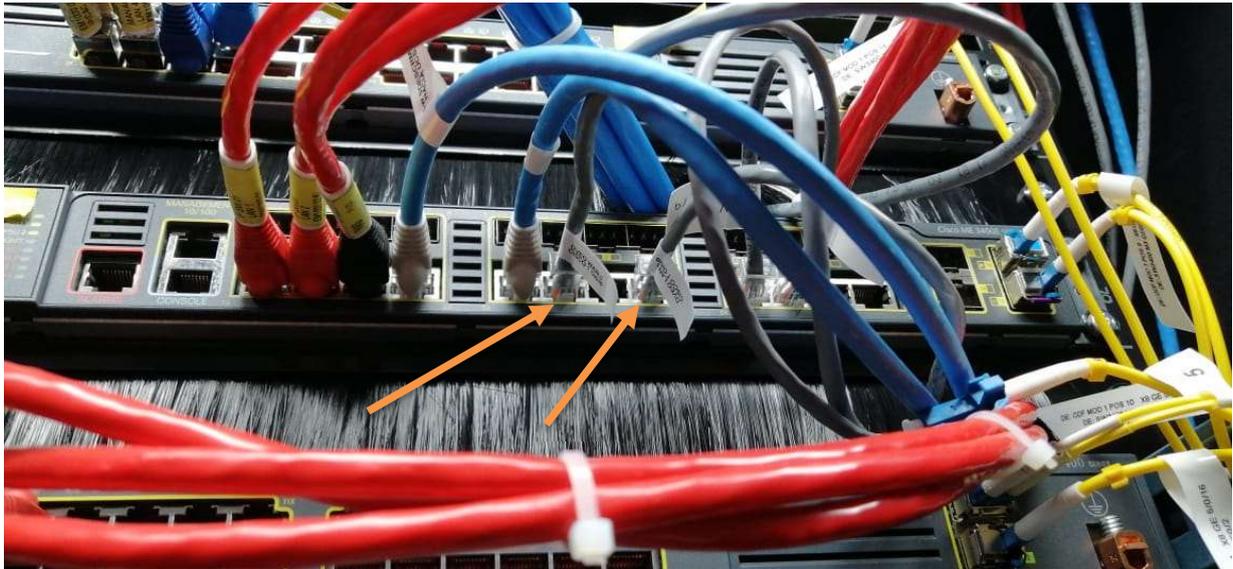
Figura 37 Vista general del armario y el sistema digital montado.



Fuente. Elaborado por el autor.

En la figura 38 se observa los cables UPT (Unshield pair twist) de datos y gestión ingresando al equipo de transporte MPLS.

Figura 38. Cables UTP de datos y gestión.



Fuente. Elaborado por el autor.

También en la tabla 11, podemos observar cuales canales quedaron configurados de acuerdo a lo requerido por el cliente y algunos parámetros relevantes que permiten la decodificación de los canales y su inserción en el flujo de transporte que se envía al VOC.

Tabla 11. Canales configurados en el sistema

Televisora	Nombre del canal	Resolución	Frecuencia central	canal asignado
Repretel	HD CH4	480i	593	34
Repretel	HD CH6	1080i	545	26
Teletica	HD CH7	1080i	497	18
Multimedios	HD CH8	1080i	557	28
Repretel	HD CH11	1080i	521	22
Sinart	HD CH13	1080i	509	20
Vm Latino	VM 1	1080i	533	24
Extra	Extra TV 1	480i	605	36

Fuente. Elaborado por el autor

## 5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

En la tabla 12. Análisis de costos de equipos utilizados, se observa el desglose de la inversión económica realizada para la compra de los equipos necesarios para implementar el sistema. Debido a que los equipos son producidos en el exterior se requiere de un proceso de importación y nacionalización, el monto mostrado ya incluye los gastos relacionados con estos procesos, además del impuesto de ventas del 13%.

Tabla 12. Análisis de costos de los materiales y equipos.

<b>Costos materiales y equipos</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Antena	1	CL-1469		\$1,350.00
Cable coaxial	60 m	VHD11001000	\$2.67	\$160.00
Splitter	1	1x8		\$35.00
Tarjeta ISDB Tb	4	TBS 6814	\$620.00	\$2,480.00
Chasis DVEO	1	GearBox 8 tuner	\$11,250.00	\$11,250.00
Cable UTP	20	Cat 6	\$0.65	\$13.00
Conectores	4	RJ45	\$0.60	\$2.40
Consumibles		Gasas plásticas, tape, vulcro, tornillos.		\$50.00
Licencia MUX/DEMUX	1		\$2,109.00	\$2,109.00
Licencia TS	1		\$4,217.00	\$4,217.00
			<b>Total</b>	<b>\$21,666.40</b>

Fuente. Elaborado por el autor.

También, se debe tomar en cuenta el costo por mano de obra, primero se debe realizar el proceso de diseño y la selección de los equipos con conocimientos técnicos y análisis de los requisitos luego el proceso de compra e importación. La instalación se ejecuta con personal técnico calificado bajo la supervisión del ingeniero a cargo del proyecto.

Posterior al diseño, compra y la instalación, se hacen mediciones en el sistema radiante con un analizador de espectro y personal calificado, y configuraciones en las tarjetas ISDB Tb, mediante el programa propio del equipo y con ayuda de personal de la empresa DVEO.

Todos estos costos son calculados tomando como referencia los montos establecidos para los salarios de los técnicos e ingenieros de IDETEL.

Las actividades y los costos de mano de obra por las diferentes actividades realizadas, mencionadas anteriormente se pueden ver en la tabla 13. Análisis de costo de mano de obra.

Tabla 13. Análisis de costo de mano de obra.

<b>Costos implementación servicios</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Horas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Diseño del sistema	160	Ingeniero	\$7.10	\$1136.00
Logística adquisición equipos	80	Ingeniero	\$7.10	\$568.00
Inspección del sitio	8	Logística	\$7.10	\$56.80
Revisión sistema radiante	8	Ingeniero	\$7.10	\$56.80
Instalación equipos	48	Ingeniero	\$7.10	\$225.60
Configuración equipos	16	Técnico	\$4.70	\$113.60
Certificación y entrega	8	Ingeniero	\$7.10	\$56.80
Transporte				\$850.00
			<b>Total</b>	<b>\$3,063.60</b>

Fuente. Elaborado por el autor.

Ahora, teniendo el conocimiento relacionado con la inversión económica para adquirir los equipos y traerlos al país, y los costos de la mano de obra para el diseño e implementación del proyecto, se calculan los costos generales necesarios para llevar a cabo el sistema propuesto.

Así en la tabla 14, se observa el resumen de los costos de la implementación del proyecto y se le añade un 20% de margen de ganancia

Tabla 14. Costo total del proyecto.

<b>Costo total de proyecto</b>	
Costo de materiales y equipos	\$21,666,.4
Costos implementación	\$3,063.6
<b>Subtotal</b>	<b>\$24,730.0</b>
Honorarios 20%	\$4,946.0
<b>Total</b>	<b>\$29,676.0</b>

Fuente. Elaborado por el autor.

En la ejecución de este proyecto se presenta un beneficio operativo, ya que se invierte dinero en la sustitución de un sistema analógico obsoleto, y se implementa un nuevo sistema digital capaz de captar las señales en el estándar ISDB Tb, permitiendo a la operadora de DTH seguir brindando el servicio.

También se genera una mejora en la experiencia del usuario final al poder retransmitir señales en resolución HD.

El nuevo sistema logra un ahorro de espacio al disminuir el tamaño de los equipos y permite escalabilidad vertical del 50% sin costo adicional y permite una escalabilidad vertical del 150% con solo comprar más tarjetas demoduladoras ISDB Tb.

Sobre los beneficios mencionados, existe un beneficio mayor y primordial que es poder mantener la concesión de televisión por DTH, seguir explotando el servicio y por ende seguir percibiendo dinero de este servicio por al menos 15 años más.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el diseño e implementación del sistema de recepción de señal abierta de televisión para insertar los canales digitales costarricenses en la programación de un operador DTH, y cumplido con los requisitos impuestos por el cliente, se concluye que:

- Por medio de la investigación realizada se evidenció a la televisión como una necesidad humana y social, los medios de comunicación informan, entretienen y educan, especialmente la televisión se ha vuelto indispensable para el modo de vida moderna.
- Se identificaron los servicios de televisión que utilizan los costarricenses, mediante la investigación se determina que el Ministerio de Ciencia y Tecnología tiene un reglamento claro en cuanto a los usos y disposiciones de la televisión comercial, se planeó el sistema tomando en consideración las leyes y reglamentos del estado costarricense y acatando todos los periodos de tiempo que dictan la ley para el cambio tecnológico.
- Se identificó mediante los métodos de investigación de la observación y las entrevistas las necesidades de la operadora con respecto a la captación de las señales de televisión nacionales, de tal manera que sirvieron de base para realizar un diseño y seleccionar el equipo adecuado para cubrir las necesidades y las debilidades con que se cuentan.

- Se entendió y explicó el sistema analógico actual y se supo que partes de este se podían aprovechar para el nuevo sistema digital, para saber cómo intervenirlo en la etapa de instalación y pruebas del sistema digital para que el servicio no se viera interrumpido durante la instalación.
- Se interfirió mínimamente con el sistema analógico, el tiempo que se dejó fuera de servicio fue en horas de la madrugada, así los usuarios que sintieron los efectos del cambio de sistemas fueron los menos y estuvo fuera de servicio por muy poco minutos. De esta manera la mayoría de usuarios solo se dieron cuenta cuando recibieron señales en formato HD de los canales de televisión que lo tienen disponible cuando antes solo recibía señales en el formato SD.
- Se estudió y entendió la forma en que funcionan las señales de televisión digital y las etapas de tratamiento por las que se pasan para saber dónde se debía intervenir en el sistema analógico para recibir la señal de televisión digital. Esto también ayudo en la decisión de compra de los equipos adecuados y en la configuración y puesta a punto del sistema.
- Con la investigación de las hojas de datos y características de los equipos se demostró teóricamente que los equipos escogidos funcionarían debido a que se contaba con homologaciones de los fabricantes y se tuvo comunicación constante con las casas fabricantes y en todo momento se tubo soporte técnico.

- Se selecciono y dimensiono los equipos y elementos necesarios para el sistema. Se seleccionó adecuadamente los equipos que integrarían el sistema. Se implementó el sistema de recepción digital en el tiempo y condiciones que el cliente demando, logrando que el espacio ocupado por el sistema se redujera drásticamente en comparación con el sistema analógico, logrando una disminución en problemas de señales por cableado defectuoso o que se pueda dañar por la manipulación.
- Se analizó el costo beneficio, evidenciando que para el cliente tuvo un impacto positivo, la inversión fue mínima, se aprovechó equipo ya comprado y los permisos de la concesión de DTH se mantienen; para IDETEL también hubo beneficio, obtuvo ganancias económicas, aumento su experiencia en este tipo de sistemas, la relación con el cliente se fortaleció y logro aumentar su cartera de negocios al lograr contactos con televisoras que no estaban tratando adecuadamente sus señales logrando vender otros sistemas y contribuyendo con la expansión y mejora de los sistemas de televisión digital en Costa Rica.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Finalizado el proyecto se dan las siguientes recomendaciones para mayor aprovechamiento del sistema:

- Se debe buscar la forma de respaldar las señales de televisión obtenidas con el sistema con enlaces dedicados desde las televisoras a través de Fibra óptica o el internet para que en caso de mantenimiento de los equipos o que el sistema por fuerza mayor quedara fuera de servicio ya sea por problemas de las estaciones transmisoras en el Irazú o por problemas propios en el sistema de recepción
- Es posible utilizando el mismo sistema radiante y con mínima inversión de equipos captar las señales de radio local esto con el propósito de retransmitirlas a través de la internet o por el servicio DTH, de esta manera se lograría ampliar la oferta y volver más atractivo el servicio.
- Debido a que el operador cuenta con la infraestructura, es posible con mínima inversión aprovechar el mismo canal de comunicación hasta las casas que utiliza la concesión de DTH y ofrecer por ese mismo medio el servicio de internet satelital a través de la misma conexión, algo similar a los servicios de telefonía, televisión e internet que ofrecen los operadores de fibra óptica.
- Se recomienda mantener optimas las condiciones de temperatura y humedad del cuarto de equipos para que el sistema opere con eficiencia, su vida útil se alargue, esto también se traducirá en menos fallos en el sistema.

- En el rack del sistema de recepción de canales se recomienda el apagado de los equipos analógicos para ahorrar energía eléctrica, evitando las fuentes de calor por equipos encendidos que no están funcionando, se recomienda ir desinstalándolos progresivamente para mejorando el espacio para la circulación de aire, quitar cableado de equipos en desuso, generando orden y evitando la confusión de los técnicos cuando se requiera una reparación, también aprovechando el espacio liberado para nuevos equipos.
- Se recomienda realizar revisiones periódicas al sistema, monitorear los niveles de recepción de las señales de los canales de televisión para prevenir cualquier degradación o defectos del sistema, en conjunto se recomienda instruir al personal para llevar un registro de los niveles y las configuraciones de los canales para prevenir cualquier afectación por degradación de la señal de la fuente de transmisión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Accion de Inconstitucionalidad Expediente N° 06-015330-0007-CO. (5 de 2 de 2007). La Gaceta. San Jose, Costa Rica: Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia.
- Argentina, Universidad Tecnica Nacional. (s.f). *utn.edu.ar*. Obtenido de <http://www1.frm.utn.edu.ar/aplicada3/apuntes/unidad8.pdf>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. . Caracas: Editorial Episteme.
- Arrow. (s.f). *Arrow.com*. Obtenido de <https://www.arrow.com/es-mx/categories/rf-and-microwave/rf-ics/tuners>
- Barrio, J. G. (2013). *Digitalizacion de la señal de televisión*. Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.
- Cid, A. d. (2011). *Investigación Fundamentos y metodología*. México: Pearson Educación.
- Cramer, H. (1959). *Probabilidad y estadística*. Wisconsin: Almqvist & Wiksell.
- Dinsdale, A. (1926). *Television*. New York: Sir Isaac Pitman & Sons LTD.
- electronicasi. (s.f). *electronicasi.com*. Obtenido de <https://www.electronicasi.com/wp-content/uploads/2013/03/multiplexoresydemultiplexores.pdf>
- Enriquez, M. d. (setiembre de 2019). *posgradoenelectronica.unison.mx*. Obtenido de [https://posgradoenelectronica.unison.mx/wp-content/uploads/2020/01/lineas\\_de\\_transmision\\_presentacion.pdf](https://posgradoenelectronica.unison.mx/wp-content/uploads/2020/01/lineas_de_transmision_presentacion.pdf)
- Gallardo, H. ( 1991). *Fundamentos de investigación académica*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba: Editorial Brujas.
- Gutierrez, E. (2017). *Television Abierta. Situacion actual y Tendencias del futuro de la TDT*. Madrid: AINERGESA SERVICES S.L, LANGAYO.
- Huidobro, J. M. (2013). *Antenas de Telecomunicaciones*. ACTA.
- Jose Morales Barroso, J. L. (2003). *Diccionario de terminos y acronimos de comunicaciones de datos*. España: L&M Data Communications S.A.
- Kaufman, R. (2004). *Herramientas prácticas para el éxito organizacional*. España: Universitat Jaume I. .

- Mahdi, M. M. (Noviembre de 2012). Implementing a Novel Approach an Convert Audio Compression to Text Coding via Hybrid Technique. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, pág. 53.
- Marquez, J. E. (2005). *Transmision de Datos*. Merida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- MICITT. (2019). *Modelo de referencia TVD Television Digital Costa Rica*. San Jose, Costa Rica: Viceministerio de Telecomunicaciones.
- Miguel Ferrando, A. V. (2013). *Antenas*. Valencia: Universidad Politecnica.
- Muñoz, C. ( 2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis (2da ed)*. Mexico DF: Prentice .
- Noguero, F. L. (2002). El análisis de contenido como metodo de investigacion. *XXI, Revista de Educación*, 174.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario*. Madrid: RAE.
- Reglamento a la Ley General de Telecomunicaciones N°34765-MINAET. (26 de 9 de 2008). La Gaceta. San Jose, Costa Rica: Vicepresidenta de la Republica y el Ministro de Ambiente, Energia y Telecomunicaciones.
- Sampieri Hernandez, R., & Collado Fernandez, C. y. (2003). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico, D.F.: McGraw-Hill Internacional.
- Tamayo, M. T. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México DF: Limusa S.A.
- Tektronix. (Recuperado 2020). *A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis*.
- Trochim, W. D. (2015). *Research Methods: The Essential Knowledge Base*. Boston: Nelson Education, Cengage Learning.

## REFERENCIAS

Enciclopedia cubana. (14 octubre 2019) Antenas de televisión. EcuRed.  
<https://www.ecured.cu/>

García, J., Morell, F., y Martín, P. (s.f). Antenas. Todo sobre antenas. Weebly.  
<http://todoantenas.weebly.com>

Pinanson Solution Connectivity. (s.f). Preguntas frecuentes sobre conectores coaxiales.  
Pinanson. <https://pinanson.eu/faq/>

Ramírez, R. (s.f) Televisión digital para Costa Rica. Academia.  
[https://www.academia.edu/21877493/Televisión\\_digital\\_para\\_Costa\\_Rica\\_Ing\\_Ronny\\_Ramírez\\_Vargas\\_Comunicaciones\\_Analogicas\\_desarrollo](https://www.academia.edu/21877493/Televisión_digital_para_Costa_Rica_Ing_Ronny_Ramírez_Vargas_Comunicaciones_Analogicas_desarrollo)

Repositorio educativo digital, Universidad Autónoma de Occidente. (s.f). Ingeniería electrónica y telecomunicaciones. <https://red.uao.edu.co/>

Ruiz, J. (28 octubre 2009) La modulación COFDM. Tmbroadcast.  
<https://tmbroadcast.es/index.php/la-modulacion-cofdm/>

Toledo, A. (20 octubre 2015) Diseño de antenas logarítmicas periódicas para tv digital. Slideshare. <https://www.slideshare.net/AlanToledo2/diseo-de-antena-logaritmica-periodica-para-tv-digital>

Torres, R. (26 noviembre 2013) Antena logarítmica periódica. Prezi.  
<https://prezi.com/elltyzcouult/antena-logaritmica-periodica/>

## **ANEXO**

## Lista de anexos

En el CD se encuentra una carpeta llamada "Anexos" en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

01. Entrevistas.
02. Hoja de datos de CL1469.
03. Hoja de datos cable coaxial.
04. Hoja de datos DVEO, GearBox II.
05. Hoja de datos Switch CISCO ME3400