

TECNOLOGIA POWER LINE COMMUNICATIONS COMO CANAL DE RETORNO DE LA TELEVISION DIGITAL TERRESTRE

D'Angelo Caguaripano, Ariana

ariana.dangelo.c@gmail.com

Expósito De Faría, Christian

christian.exposito@gmail.com

RESÚMEN

En los últimos años la industria televisiva ha experimentado cambios en la manera de transmitir sus contenidos, mudando del formato analógico al digital y dando espacio a la incursión de la plataforma denominada Televisión Digital Terrestre (TDT). Este cambio en la manera de transmitir los contenidos televisivos trae consigo una serie de ventajas de gran relevancia como lo es la interactividad, la cual permite al usuario enviar datos, y para que esto sea posible, el sistema de TDT debe contar con un canal de retorno que permita el envío de información. El canal de retorno debe agregarse al sistema, ya que en la TDT no existe un medio “natural” para ello. En base a esto, se estudió la aplicabilidad de la tecnología Power Line Communications (PLC) como canal de retorno afines de proponer un posible diseño de implementación. Además, se desarrolló una aplicación que permitiera simular el diseño propuesto para evaluar su factibilidad de funcionamiento. El presente estudio fue una investigación documental de tipo exploratoria, resultando la factibilidad del fin propuesto, pero considerando su aplicabilidad poco viable debido al estado actual de la red eléctrica en el país y la emergencia de nuevas tecnologías. El enfoque de este trabajo especial de grado consistió en dar a conocer fundamentos teóricos-prácticos que permitan continuar con estudios en el área.

Palabras Claves: Interactividad, red eléctrica, canal de retorno.

Dedicatoria

*A mi familia, en especial a mis padres, hija y hermana,
por ser mi impulso para seguir adelante a lo largo de mi carrera profesional,
por sus consejos y palabras de aliento para culminar mis estudios
y enseñarme que todo logro merece esfuerzos y sacrificios.*

Ariana C. D'Angelo C.

*A Dios, por permitirme llegar hasta aquí.
A mis padres, Porque este logro es nuestro,
por ser los mejores padres que pude haber tenido,
y por sus sacrificios y esfuerzos diarios para darnos lo mejor.
A mis hermanas, por motivarme a dar siempre lo mejor de mí.
y a cada familiar y amigo que estuvo a mi lado justo cuando lo necesite.
A todos, Gracias.*

Christian P. Expósito D.

Agradecimientos

Ante todo, a Dios y la Virgen de Valle por darme salud y estar conmigo en cada paso, iluminar mi mente y llenarme de sabiduría a lo largo de mi vida universitaria.

A mis padres, abuela, hermana, tías, tíos y demás familiares, ya que sin su apoyo incondicional, palabras y esfuerzos no hubiese sido posible el logro alcanzado. A mis amigos y compañeros de estudio por formar parte de esta experiencia inolvidable y en general a todas aquellas amistades que de alguna u otra forma estuvieron apoyándome en este recorrido.

Ariana C, D'Angelo C

A mis padres, Teresa De Faría y Juan A. Expósito. A mis hermanas Daniela Expósito y Diana Expósito. A mi abuela María Dolores Miranda, por su gran ayuda y sacrificio. A mis tíos Yolanda Pestana y Johnny Brancovich, por adoptarme durante este periodo. A mis primos Francisco Jiménez, Ricardo Brancovich y Andrés Brancovich, por alegrarme los días entre tanto stress. A Luis Arismendi, por haber estado siempre ahí. A Daniel Gutiérrez, por su gran ayuda. Junior González, Reisman Franco y Aarón Marfil, por aguantarse los malos ratos. A mi compañera Ariana D'Angelo y a cada otro familiar y amigo que de alguna u otra manera contribuyó a que hoy este acá.

Christian P. Expósito D.

Al Profesor Berardo Di Attanasio, por su invaluable ayuda y disposición. A nuestro tutor, el profesor Nicola Buonanno por su paciencia. A la Universidad Católica Andrés Bello y a todos nuestros profesores por haber sido parte imprescindible del aprendizaje y perfil profesional y brindar sus conocimientos.

A todos, ¡ mil gracias!.

Índice General

RESÚMEN	i
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	v
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xiv
Introducción.....	1
Capítulo I: Planteamiento del proyecto.....	4
I.1 Planteamiento del problema.....	4
I.2 Objetivo General	5
I.3 Objetivos Específicos.....	5
I.4 Limitaciones y Alcances	6
I.5 Justificación del Proyecto	6
Capítulo II: Marco Teórico	8
II.1 Antecedentes	8
II.2 Televisión Digital Terrestre (TDT).....	9
II.2.1 Fundamentos	9
II.2.2 Compresión de Video MPEG-2	10
II.2.3 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre.....	11
II.2.4 Funcionamiento.....	13
II.2.5 Estándares de Televisión Digital Terrestre	14

II.2.6	Arquitectura de la red de Televisión Digital Terrestre	20
II.2.7	Televisión Interactiva	21
II.2.8	Aplicaciones Interactivas	24
II.2.9	Set Top Box (Sintonizador)	24
II.2.10	Middleware	27
II.2.11	Canal de Retorno	28
II.3	La Red Eléctrica.....	29
II.3.1	Topología de la Red Eléctrica.....	30
II.3.2	Parámetros Técnicos	33
II.3.3	Interferencias en las Señales de Transmisión	36
II.3.4	Las Líneas Eléctricas Como Medio de Transmisión	42
II.4	Tecnología Powerline Communications (PLC).....	43
II.4.1	Origen y Evolución de la Tecnología PLC	43
II.4.2	Definición de la Tecnología PLC	44
II.4.3	Estructura PLC.....	45
II.4.4	Equipos	47
II.4.5	Topología Física	52
II.4.6	Funcionamiento	56
II.4.7	Estado de PLC a Nivel Mundial	77
Capítulo III:	Marco Metodológico	78
III.1	Levantamiento de información:	79
III.2	Evaluación del sistema:	82
III.3	Simulación y Mejora:.....	82
Capítulo IV:	Desarrollo	83

I.1 Levantamiento de Información	83
I.2 Evaluación del Sistema	85
IV.1 Simulación y Mejora	88
Capítulo V: Resultados	94
V.1 Levantamiento de Información	94
V.2 Evaluación Del Sistema.....	100
V.2.1 Delimitación del Rango de Trabajo	100
V.2.2 Definición de equipos a utilizar	101
V.2.3 Definición del sistema de canal de retorno	105
V.2.4 Simulación y Mejora.....	132
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	150
Capítulo VII: Bibliografía.....	153
Capítulo VIII: Anexo “A”: Despliegue de PLC en el Mundo	162
Capítulo IX: Anexos “B”: Sintonizadores ISDB-Tb	165

Índice de Figuras

Figura II.1:	Visión General de un Sistema de Televisión Digital.....	10
Figura II.2:	Esquema de la norma ATSC.	15
Figura II.3:	Arquitectura de red en un sistema de TV Digital.	20
Figura II.4:	Arquitectura de un Set Top Box Convencional.	26
Figura II.5:	Esquema de la red eléctrica.	30
Figura II.6:	Diagrama de la red eléctrica.	33
Figura II.7:	Circuito equivalente de una línea de transmisión.	34
Figura II.8:	Densidad Espectral Del Ruido De Fondo Generalizado.....	39
Figura II.9:	Señales De Impulsos En Una Red PLC.....	40
Figura II.10:	Tipos de Ruido Presentes en Ambientes PLC.	41
Figura II.11:	Estructura PLC.	46
Figura II.12:	Componentes De La Red PLC.	47
Figura II.13:	Tipos de Equipos CPE.....	48
Figura II.14:	Componentes Básicos De Un Equipo CPE.	48
Figura II.15:	Filtros Contenidos en los Equipos PLC.....	49
Figura II.16:	Un IR suele ubicarse cerca del Medidor de Corriente Eléctrica.	50
Figura II.17:	Los HE suelen instalarse cerca de los transformadores de MT/BT.	51
Figura II.18:	Topología Genérica De Sistema Indoor.	52
Figura II.19:	Otro Caso De Topología Genérica De Sistema Indoor.	53
Figura II.20:	Topología Outdoor.	54
Figura II.21:	Topología de un Sistema de Distribución.	54
Figura II.22:	Topología Red PLC.....	55
Figura II.23:	Ejemplo De Topología De Una Red De Distribución De Bajo Voltaje.	56
Figura II.24:	Tipos De Modulación empleadas en PLC.	57
Figura II.25:	Procesos del modulador GMSK.	58
Figura II.26:	Diagrama de fase para GMSK.....	58
Figura II.27:	Señal Modulada GMSK.	59
Figura II.28:	Ejemplo de salto de frecuencias con FHSS.	60
Figura II.29:	Sistema FHSS.....	61
Figura II.30:	Reglas XOR.	62
Figura II.31:	Expansión de la señal en DSSS.	62
Figura II.32:	Transmisión Mediante El Uso De la Modulación Multi-portadora Y OFDM.....	64
Figura II.33:	Uso Del Espectro De Frecuencias En OFDM.	64

Figura II.34:	Sistema Básico OFDM.....	65
Figura II.35:	Constelación del modulador 4QAM; 64QAM.	66
Figura II.36:	Generación de un Símbolo OFDM	67
Figura II.37:	Intervalos de Guarda entre Símbolos.	67
Figura II.38:	Modulación OFDM.....	68
Figura II.39:	Modelo OSI.....	69
Figura II.40:	Modelo OSI en un Sistema PLC.	71
Figura II.41:	Segmentación De Una Trama PLC Bajo OFDM.	72
Figura II.42:	Rangos de frecuencia de la señal de energía y datos.....	73
Figura II.43:	Distribución del espectro de frecuencia de datos según ETSI TS 101 867	73
Figura II.44:	Cuadro Evolutivo de las Velocidades de Transmisión PLC.	74
Figura II.45:	Ley de Shannon.....	75
Figura II.46:	Densidad de potencia en función de la densidad de potencia de ruido.	75
Figura II.47:	Ley de Shannon en función de la densidad de potencia.	76
Figura III.1:	Fases metodológicas	79
Figura IV.1:	Dispositivo CPE “SlingLink Power Line Ethernet Bridge”	86
Figura IV.2:	CPE “SlingLink Power Line Ethernet Bridge” (Panel Frontal y Posterior).....	87
Figura IV.3:	Sistema General de comunicaciones de la aplicación.....	88
Figura IV.4:	Panel Frontal de un VI en LabVIEW v8.5.	89
Figura IV.5:	Diagrama de Bloques de un VI en LabVIEW v8.5.....	90
Figura IV.6:	Paleta de funciones en LabVIEW.	90
Figura IV.7:	Tipos de pruebas realizadas.	92
Figura V.1:	Ventajas de la TDT según Expertos.....	95
Figura V.2:	Especificación de Conector RJ-45, Manual Sintonizador VT7200.....	101
Figura V.3:	Especificación de Conector en Manual Nova-ISDB-T-T7102.	102
Figura V.4:	Puerto RJ-45 del Nova ISDBT-T-T7102. Parte Posterior.....	103
Figura V.5:	Puerto RJ-45 del ISDBT VT7200 (Brasileiro).....	103
Figura V.6:	Interfaz de Configuración Puerto Ethernet.....	104
Figura V.7:	Topología del canal de retorno PLC	105
Figura V.8:	Esquematación del diseño Tx (Azul)-Rx (Verde).	108
Figura V.9:	Pantalla Principal (Panel Frontal).	109
Figura V.10:	manejo de las propiedades del archivo de video.	110
Figura V.11:	Estructuras anidadas para la selección del URL.	110
Figura V.12:	Bloques requeridos para la reproducción del video.	111
Figura V.13:	controlador del estado de reproducción del archivo de video.	112
Figura V.14:	Control del sistema.	113

Figura V.15:	Gestión de Configuraciones TCP.....	113
Figura V.16:	Generación de parámetros a transmitir.....	115
Figura V.17:	Generación del parámetro complementario de la Duración.....	117
Figura V.18:	Tratamiento posicional de la Trama I.....	118
Figura V.19:	Tratamiento posicional de la Trama II.....	119
Figura V.20:	Proceso de Empaquetado de la Trama I.....	120
Figura V.21:	Proceso de Empaquetado de la Trama II.....	120
Figura V.22:	Proceso de establecimiento del enlace TCP y transmisión de datos.....	121
Figura V.23:	Medio operante en la primera prueba.....	122
Figura V.24:	Medio operante en la tercera prueba.....	122
Figura V.25:	Proceso de establecimiento del enlace TCP y recepción de datos.....	123
Figura V.26:	Selección del procedimiento a realizar en la recepción.....	124
Figura V.27:	Extracción, comparación y definición del parámetro CH ID.....	125
Figura V.28:	Recuperación del parámetro PGM ID.....	126
Figura V.29:	Recuperación del parámetro TI.....	126
Figura V.30:	Conversión de los parámetros en segundos a minutos/segundos.....	127
Figura V.31:	Convertor de números a valores de la tabla ASCII.....	128
Figura V.32:	convertor ASCII y empaquetado a formato horario digital.....	129
Figura V.33:	Concatenación final de parámetros y generación de registro.....	130
Figura V.34:	Control del puerto de enlace TCP.....	131
Figura V.35:	Interfaz de visualización de datos.....	131
Figura V.36:	Asignación del puerto 49000 para el enlace TCP.....	132
Figura V.37:	Asignación del archivo .txt para el almacenamiento del registro de datos.....	132
Figura V.38:	Configuración del peso de las tramas a enviar.....	132
Figura V.39:	configuraciones de enlace.....	133
Figura V.40:	Asignación de archivos utilizados como programación de los canales.....	133
Figura V.41:	Video reproduciéndose en la primera simulación.....	134
Figura V.42:	Recepción de la primera tanda de datos.....	135
Figura V.43:	Cambio de canal y reproducción del contenido.....	136
Figura V.44:	Recepción de los parámetros enviados por cambio de canal.....	137
Figura V.45:	Tercer registro contabilizado.....	138
Figura V.46:	Registro de datos (.txt).....	139
Figura V.47:	Verificación de IP en la consola de Windows.....	140
Figura V.48:	Direcciones IP de las computadoras involucradas.....	140
Figura V.49:	Asignación de la dirección IP del receptor en el control del transmisor.....	141
Figura V.50:	Conexión cableada mediante cable UTP CAT 5E.....	141

Figura V.51:	Conexión del CPE al tomacorriente.....	143
Figura V.52:	Conexión del Cable UTP CAT 5E al CPE.....	144
Figura V.53:	Corrida del sistema Transmisor.....	145
Figura V.54:	Activación total del CPE.....	146
Figura V.55:	Reproducción del Canal 1 por segunda vez en la misma prueba.....	147
Figura V.56:	Registro de sintonización de la tercera prueba.....	147
Figura VIII.1:	Despliegue De La Tecnología PLC en Europa.....	162
Figura VIII.2:	Despliegue De La Tecnología PLC en Asia.....	163
Figura VIII.3:	Despliegue De La Tecnología PLC en América.....	164
Figura IX.1:	Set Top Box de origen Argentino, Modelo Nova ISDBT-T7102.....	165
Figura IX.2:	Set Top Box de origen Brasileiro, Modelo VT200.....	165
Figura IX.3:	Antena Incluida en los sintonizadores de TV Digital.....	166
Figura IX.4:	Conectores incluidos en los sintonizadores de TV Digital.....	166
Figura IX.5:	Control Remoto del sintonizador ISDBT-NOVA 7200 (Argentino).....	167
Figura IX.6:	Búsqueda manual de canales en el sintonizador de TV Digital.....	167
Figura IX.7:	Realizando búsqueda manual de canales.....	168
Figura IX.8:	Interfaz de conexión a internet de los sintonizadores.....	168
Figura IX.9:	Guía electrónica de Programas en el Sintonizador de TV Digital.....	169

Índice de Tablas

Tabla 1:	Técnicas usadas en QAM.	66
Tabla 2:	Comparativa teóricos/realizable de las Capacidades de Canal.	77

Introducción

La incursión de la digitalización de señales ha representado uno de los avances más significativos en el campo de la transmisión de datos, llegando a influir a cada uno de los sistemas de comunicaciones entre los cuales se encuentra la televisión. La digitalización de señales ofrece soluciones a una serie de tópicos tales como la creación de nuevos servicios y el mejoramiento del existente. Al digitalizar la señal de televisión se logran mejoras notables en la calidad de imagen y sonido recibido, además de optimizar el uso del espectro al requerir menor ocupación de ancho de banda en comparación a una señal analógica. Todo esto abre las puertas a la futura introducción de servicios interactivos.

Entre los sistemas televisivos que han incorporado sistemas de digitalización se encuentran aquellos de transmisión terrestre, transmitidos mediante antenas UHF convencionales por ondas hertzianas. Estos son los sistemas de televisión comúnmente denominados de “señal abierta”.

Uno de los requerimientos para la implementación de estos sistemas digitales en la televisión de señal abierta o transmisión terrestre lo conforma la definición de un estándar que comprenda el manejo de los datos. En Venezuela ya se ha definido el estándar que regirá las futuras transmisiones de televisión digital terrestre. Este estándar es el denominado ISDB-Tb, desarrollado en Japón con modificaciones introducidas por Brasil. Actualmente, los sistemas de televisión digital terrestre están siendo estudiados por un selecto organismo del estado.

Basándonos en el auge tecnológico devenido por esta situación surge la realización de este Trabajo Especial de Grado, que centra su contenido en el estudio del canal de retorno intrínseco de los servicios que mantienen los sistemas digitales.

El Trabajo Especial de Grado que a continuación se presenta, se basa en un estudio sobre la tecnología Power Line Communications como medio de transmisión para el canal de retorno de los servicios que se pueden ofrecer con el sistema de televisión digital terrestre, ya que a pesar de las pruebas que se han realizado en el país, no se ha definido la tecnología a utilizar una vez que este sistema digital se implemente. El informe de este trabajo especial de grado se encuentra dividido por capítulos, los cuales se enumeran y especifican a continuación:

Capítulo I: Se presenta el problema de la investigación, así como la justificación de la realización del mismo, los objetivos propuestos para lograr la solución del problema planteado y las limitaciones y alcances del proyecto en general.

Capítulo II: Se describen los conocimientos teóricos adquiridos de la investigación documental realizada sobre las tecnologías involucradas en este trabajo especial de grado.

Capítulo III: Se muestra la modalidad de investigación realizada, así como las fases que componen el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Capítulo IV: Se explica el desarrollo que conlleva la aplicación de la metodología delineada con anterioridad.

Capítulo V: Se exponen los resultados del desarrollo descrito en el capítulo anterior, estructurando el contenido en función de la metodología planteada en el capítulo III.

Capítulo VI: Se establecen las conclusiones a las que se llegó una vez culminado el proyecto. De igual forma, se exponen recomendaciones a tomar para la posible implementación del proyecto y/o futuros estudios.

Capítulo I: Planteamiento del proyecto

En este capítulo se presenta la descripción del problema planteado en el presente Trabajo Especial de Grado, los objetivos necesarios para resolver dicho problema, así como también la justificación, alcances y limitaciones.

I.1 Planteamiento del problema

La transformación de los sistemas analógicos a sistemas digitales ha sido una de las principales revoluciones acontecidas en el sector de las telecomunicaciones, permitiendo mejorar la calidad de servicios e incrementar su proliferación. Este cambio llega a los servicios de difusión y, particularmente, a los de televisión con una tecnología que sustituirá a la televisión analógica convencional: la Televisión Digital Terrestre (TDT), la cual ha representado un área de gran auge al ser considerada por muchos países como el nuevo formato de difusión de programaciones audiovisuales. Esto se debe a las múltiples ventajas que ofrece el sistema digital frente al sistema analógico actual, entre las cuales se encuentran, por mencionar algunas: mejor calidad de imagen y sonido, mayor número de canales en el mismo ancho de banda que ocupa un canal de televisión analógica y como resultado de esto se puede hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

La Televisión Digital Terrestre facilita el uso de aplicaciones interactivas, las cuales permiten al usuario enviar datos (ya sea al proveedor del servicio o a otro usuario) además de recibirlos. Para que esto sea posible, el sistema debe contar con una vía de retorno en la cual se envíe información en el sentido contrario a la que recibimos. En el caso de la televisión por cable e IPTV el canal de retorno es intrínseco del canal. Sin embargo, en la televisión terrestre no existe un canal de retorno “natural”.

Actualmente, con la televisión abierta no existe interacción directa entre el usuario y el prestador de servicios, con la migración al formato de televisión digital se necesitará un canal de retorno para disfrutar de los diferentes servicios. Hasta la fecha, en Venezuela se realizan estudios para proponer el medio de transmisión del canal de retorno una vez que el sistema de Televisión Digital Terrestre se implante en el país, es por ello que el objetivo de este proyecto de investigación es estudiar con profundidad la tecnología Power Line Communications (PLC), la cual aprovecha la extensión de la red eléctrica para las comunicaciones sin necesidad de instalación ni contratación de otro servicio, como tecnología de acceso para el canal de retorno. Estudiando además, las limitaciones que tiene dicha tecnología así como parámetros fundamentales que permitan relacionar la plataforma de la televisión digital con la tecnología PLC a fin de demostrar o no su posible implementación como vía de retorno entre usuario y servidor.

Para cumplir con el propósito fundamental de este trabajo especial de grado se plantearon los siguientes objetivos:

I.2 Objetivo General

Estudiar, evaluar y analizar el uso de la Tecnología Power Line Communications (PLC) como canal de retorno para los servicios que ofrece la Televisión Digital Terrestre (TDT).

I.3 Objetivos Específicos

- Describir el sistema de Televisión Digital Terrestre.
- Describir la arquitectura de la red eléctrica.
- Estudiar la tecnología Power Line Communications (PLC).
- Evaluar la aplicabilidad de la tecnología Power Line Communications como canal de retorno en los servicios de Televisión Digital Terrestre.

- Simular el canal de retorno aplicando la tecnología Power Line Communications.
- Examinar la factibilidad de mejoramiento por medio de los resultados obtenidos en la simulación.

I.4 Limitaciones y Alcances

En el desarrollo de este trabajo especial de grado se incluirá un estudio detallado de las diversas tecnologías que implican dicho proyecto, las cuales son: la Televisión Digital Terrestre, la Red Eléctrica y Power Line Communications. De esta forma, se define con fundamentos teóricos las características de interés en función de analizar la aplicabilidad del canal de retorno mediante esta vía. Se realizará una simulación del canal de retorno utilizando equipos PLC con el fin de demostrar la viabilidad de dicha tecnología con los resultados de la simulación. También se examinará la posibilidad de mejorar el sistema propuesto en función de los resultados.

La consecución de los dispositivos y equipos que integren las tecnologías estudiadas puede ser determinantes en el estudio que llevamos a cabo, ya que al manipular estos dispositivos se puede ampliar el estudio en sí. De la misma manera, podremos encontrar dificultades debido al incumplimiento de las normas internacionales eléctricas en las construcciones del país ya que el estado del sistema eléctrico será determinante. En el desarrollo de este trabajo especial de grado no se incluirá la implementación, lo que se busca es estudiar la viabilidad de aplicación de esta tecnología a los futuros servicios de TDT en el país.

I.5 Justificación del Proyecto

El principal motivo por el cual se decidió llevar a cabo esta investigación para el proyecto de Trabajo especial de Grado estuvo determinado por la necesidad de

contar con un canal de retorno para los servicios de interactividad que nos ofrecerá en su momento el sistema de Televisión Digital Terrestre en el país.

Venezuela adopto en el año 2009 el estándar de Televisión Digital Terrestre por el cual se regirán las transmisiones en el país. Se seleccionó el estándar ISDB-T Internacional, el cual parte del estándar Japonés con mejoras realizadas por la Republica de Brasil. La señal digital que será transmitida no puede ser vista en los televisores analógicos convencionales, ya que estos operan bajo estándares analógicos valga la redundancia. De hecho, se sabe que aproximadamente el 95% de la población venezolana cuenta con televisores analógicos, por lo cual es necesario la adopción de un equipo aparte del televisor, que sea capaz de sintonizar la señal y de esta manera disfrutar de la programación en formato digital. En base a esto, el gobierno nacional mantiene convenios con otros países que también han adoptado la misma normativa técnica para la transmisión de la televisión digital terrestre, los cuales han desarrollado el equipo necesario y que Venezuela ha obtenido gracias a dichas alianzas. Los equipos, denominados también Set Top Box (STB), son de origen Argentino y Brasileiro, y los mismos están destinados a ser suministrados principalmente a los sectores populares de la ciudad de Caracas.

Este trabajo especial de grado integra el estudio de dichos equipos, ya que por medio de ellos se establecerá el medio para los servicios interactivos que la televisión digital terrestre puede ofrecer entre usuario y el prestador de servicios.

Capítulo II: Marco Teórico

Para la correcta realización del proyecto se deben conocer una serie de conceptos físicos y técnicos para así abarcar en su totalidad todas los tópicos involucradas en el desarrollo del mismo, de esta manera, se podrá realizar el proyecto de la mejor forma y se tendrán los conocimientos indicados para resolver las eventuales dificultades que se presenten en el transcurso del desarrollo del proyecto.

II.1 Antecedentes

Título: Análisis de medios de transmisión y tecnologías como alternativas para el canal de retorno de los servicios interactivos de televisión digital terrestre en Venezuela.

Realizado Por: Bolívar H., Héctor R.

Fecha: Enero 2009

Fecha de Publicación: Noviembre 2011

El trabajo Especial de Grado mencionado anteriormente fue realizado en la Universidad Central de Venezuela, en el cual se analizaron diferentes medios de transmisión y tecnologías existentes o con posibilidades de implantarse en Venezuela, con el objetivo de proponer una alternativa para el canal de retorno de los servicios de Televisión Digital Terrestre del país. Se consideró cada tecnología de acceso como canal de retorno, y tomando en cuenta las ventajas y desventajas que presenta cada una de ellas, se propone la consideración de las tecnologías PLC Y DVB-RCT como soluciones a largo plazo para el canal de retorno.

A continuación se presentan una serie de temas y conceptos que se consideraran importantes para la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

II.2 Televisión Digital Terrestre (TDT)

II.2.1 Fundamentos

La TDT es una de las ramas de la Televisión Digital, existen otras alternativas de transmisión como la satelital, por cable, ADSL o IPTV. Cada canal que se transmite en formato analógico ocupa un ancho de banda de 6MHz en el espectro electromagnético. Al digitalizar la señal, los parámetros se representan en forma binaria mediante equipos y dispositivos que comprimen, almacenan y transportan la señal con un mínimo de recursos. Tal es el caso del conversor analógico/digital, quien permite adecuar la señal de televisión para procesos posteriores de mayor complejidad sin afectar negativamente su calidad.

(Bolívar & Héctor, 2011) Señalan que: La Televisión Digital Terrestre es el resultado de la aplicación de las tecnologías digitales de procesamiento de la información contenida en una señal de televisión, la cual es posteriormente transmitida por medio de ondas hertzianas terrestres, es decir, que se transmiten por la atmosfera sin necesidad de cable o satélite y se reciben por medio de antenas de televisión en la banda UHF (*Ultra High Frequency*) convencionales (p. 7).

Un sistema de televisión digital se puede entender como “un sistema típico cliente/servidor, en donde el servidor seria el ambiente de una radiodifusora como un servidor de contenido y el cliente el usuario telespectador” (Sotomayor, 2009). En la siguiente figura, se muestra una visión general de un sistema de televisión digital (*Véase Figura II.1*).

La transmisión de TDT se realiza en base a una serie de normas o estándares técnicos que varían de acuerdo al país que se refiera. Las razones de estrategia geopolítica resultan un factor fundamental en la selección del estándar a implementar, por lo cual en Venezuela el estándar seleccionado es el ISDB-T japonés con mejoras realizadas por Brasil, el cual será detallado más adelante del capítulo.

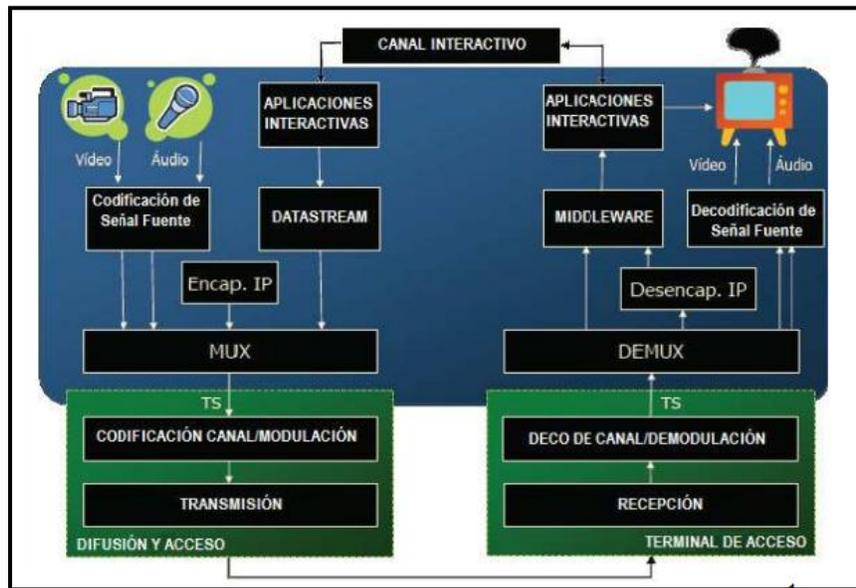


Figura II.1: Visión General de un Sistema de Televisión Digital

Fuente: (Sotomayor, 2009).

II.2.2 Compresión de Video MPEG-2

El aprovechamiento espectral es posible gracias a las técnicas de compresión de imagen y sonido manejadas en las señales digitales, que permiten transmitir hasta cuatro señales digitales en lugar de una analógica (manteniendo la misma calidad). Una de las técnicas de compresión digital, son las denominadas MPEG (*Moving Picture Experts Group*), las cuales permiten reducir la cantidad de números generados en la digitalización hasta unos niveles adecuados que hagan viable su transporte manteniendo una alta calidad y mejor gestión de recursos.

(Sotomayor, 2009) Señala: MPEG es el grupo de trabajo del sub-comité del ISO/IEC (*International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission*) encargado del desarrollo de estándares para la compresión, descompresión, procesado y codificación de imágenes animadas, audio o la combinación de ambas. MPEG define la sintaxis de las señales digitales

correspondientes a audio y video, describe su estructura, contenido y regula el funcionamiento de decodificadores estandarizados.

La codificación digital sigue algoritmos lógicos que permiten reducir el número de parámetros requeridos para la representación de la señal sin perder la calidad perceptual y posteriormente poder identificar y corregir errores. A su vez, permite la recepción de una imagen siempre integra, pero cuando la señal no es transmitida en su totalidad, resulta insuficiente para los circuitos decodificadores, perdiendo así su recepción. Este evento es denominado abismo digital.

El sistema de compresión más utilizado en aplicaciones de video es el MPEG-2, quien requiere que la señal a comprimir sea digital, las señales analógicas tendrán que digitalizarse previamente para poder realizar la compresión. Cuando se comprime una señal, la velocidad binaria es menor que la velocidad de la data original, es decir antes de comprimir. Existe una relación de compresión, que viene dada por:

$$\text{Relacion de Compresion} = \frac{V_i}{V_o}$$

Donde V_i es la velocidad original a la entrada del compresor y V_o es la velocidad de datos a la salida del compresor. La señal a la salida del compresor es empaquetada con longitud variable, en paquetes denominados PES (*Packet Elementary Stream*). A partir de estos se forman los paquetes de programas y los paquetes de transporte, PS y TS respectivamente. Vale acotar que el número de programas digitales a transmitir está directamente relacionado con el factor de compresión a aplicar.

II.2.3 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre

Se tienen las descritas a continuación:

Mejor calidad de Imagen y Sonido

Se cuenta con señales mucho más robustas frente al ruido, las interferencias y la doble imagen. No se sufren los efectos de la propagación multi-trayecto, asegurando de este modo la correcta recepción de los contenidos. Se incrementa la cantidad de datos que puede ser transmitido lo cual genera mejoras en la imagen y el audio al poder ofrecer un sonido multicanal.

- **Optimización del Espectro Radioeléctrico y Aumento del Número de Canales de Programación:**

Se logra usar todos los canales de la banda sin necesidad de dejar canales de guarda contra interferencias, permitiendo ofrecer más canales en el mismo espacio. En los mismos 6MHz de un canal UHF se pueden transmitir aproximadamente 3 o 4 programas de televisión digital.

- **Facilidad de Recepción y menor Costo:**

Permite la recepción con antenas UHF convencionales (individuales o colectivas) lo que supone un costo mínimo para el usuario, al igual que la reducción en el tamaño de las antenas permitiendo su recepción en terminales más pequeños.

- **Utilización de Redes de Frecuencia Única:**

Esto permite emitir el mismo programa a la misma frecuencia desde distintos transmisores, permitiendo a su vez, la correcta recepción del mismo y requiriendo menor potencia de transmisión que la analógica.

- **Crecimiento de la Industria de la Televisión:**

Significa un crecimiento en diversas industrias como para los creadores de contenidos o industria la electrónica, porque se requiere renovación de los equipos

receptores de televisión y la introducción de nuevos productos al mercado. También para la industria televisiva, al crear posibilidades de establecer nuevos modelos de negocios basados en servicios dados como la interactividad.

- **Abre las puertas del hogar a la Sociedad de la Información:**

La TDT permite la convergencia de TV-PC. La TV pasara a convertirse en un terminal multimedia que podrá admitir datos provenientes de los servicios de telecomunicaciones, suministrando servicios de valor añadido, como: Internet, correo electrónico, guías electrónicas de programas, video bajo demanda, compra de programas, etc.

II.2.4 Funcionamiento

Al ser la TDT un sistema transmitido mediante ondas electromagnéticas terrestres y recibidas a través de las antenas UHF convencionales, solo se requiere la adición al sistema actual de un equipo capaz de traducir la señal digital al televisor. Esto se debe a q los televisores que operan bajo estándares analógicos son incapaces de traducir la señal digital por sí mismos Sin embargo, los amplificadores instalados en esas antenas están pensados para señales analógicas y amplifican solo la señal de un único canal UHF, lo que hace necesario añadir un nuevo amplificador de canal por cada canal radioeléctrico usado para televisión digital.

Actualmente, el sistema de televisión analógico en el país conforma el 95% del mercado, rigiéndose bajo el estándar Estadounidense NTSC (*National Television System Committee*), el cual no escapa de la incapacidad de manejo digital inherente en los sistemas analógicos. El 5% restante lo conforman los denominados “Smart Tv”, que son receptores de TV inteligentes que integran el internet y hacen la referencia a un decodificador para recibir la señal de televisión digital y permitir el disfrute de sus servicios.

Los equipos que necesita el sistema de TV Venezolana, están siendo desarrollados por el gobierno nacional en alianza con otros países (Brasil y Argentina), los cuales están destinados en principio a sectores populares del país. Según declaraciones del Ministro de Ciencia y Tecnología, Jorge Arreaza, del día 31 de Agosto de 2012, previo a un plazo de dos años, la TDT podrá cubrir el territorio nacional al término de las pruebas que se están realizando desde Junio de 2011.

II.2.5 Estándares de Televisión Digital Terrestre

Variantes en cuanto a técnicas empleadas y beneficios ofrecidos contamos con los sistemas DVB-T, ATSC, DMBT, ISDB-T explicadas con más detalle a continuación.

II.2.5.1 Estándar DVB-T

Desarrollado por la comunidad europea DVB (*Digital Video Broadcasting*) para su variante terrestre. Emplea MPEG-2 e incluye el uso de canales de retorno con el objetivo de interactuar con el usuario. Usa la modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), la cual codifica la señal por código corrector de error antes de ingresar al modulador OFDM. De esta manera se aumenta significativamente la robustez de la señal ante las interferencias.

Este estándar permite una planificación tanto en Redes de Frecuencia Única (SFN) como en Redes Multi-frecuencia (MFN) permite la movilidad para la recepción en vehículos, para lo cual desarrolla DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*).

II.2.5.2 Estándar ATSC

El *Advance Television System Committee* fue creado en Estados Unidos en 1982 como una asociación privada compuesta por empresas y centros educativos. Se diseñó principalmente para la transmisión en alta definición sobre canales de 6MHz

mediante el uso de una modulación en banda lateral vestigial (8VSB) mono portadora e independiente de fase, brindando 6 veces mejor calidad de imagen que la televisión analógica actual y mejor calidad de sonido tipo cine y alcanzando hasta 19,4 Mbps. De igual forma permite transmitir varias señales en definición estándar como también transmitir señales combinadas simultáneamente. De este estándar se distinguen tres sub-sistemas bien definidos en la Figura II.2.

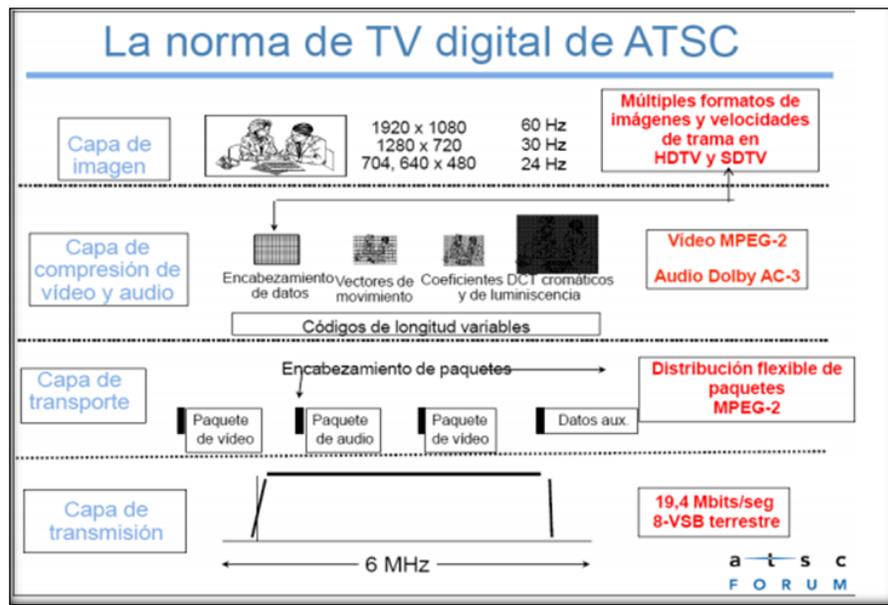


Figura II.2: Esquema de la norma ATSC.

Fuente: (Holguin, 2010).

Para la codificación del video se utiliza MPEG-2, mientras que la compresión de audio se basa en la norma de audio digital AC-3, cuyo método es el *Dolby Surround Sound* usado en las salas de cine. En cuanto a movilidad, ATSC soporta recepciones móviles utilizando un mismo canal de TV utilizando redes muy simples y sin reducir significativamente la carga útil para las señales y servicios de recepción fija, principal sustento de la TV libre y gratuita. Sin embargo, una de las dificultades con el ATSC es la inadaptabilidad a los cambios en las condiciones de radio propagación.

II.2.5.3 Estándar DTMB

El *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast* de origen Chino, fue definido en el año 2006 y recibió la aprobación de la República Popular China en Agosto de 2007. es una fusión de varias tecnologías e incluye derivaciones del estándar Norteamericano ATSC y del Europeo DVB-T. Es capaz de transmitir HDTV de calidad aceptable a vehículos en movimiento que van a 200 Km/h y permite la transmisión de varios canales por una misma frecuencia. Este sistema se desglosa en cuanto a su tipo de recepción, ya sea fija o móvil, soportando sonido digital, multimedia, servicios de transmisión de datos, televisión digital de definición estándar y HDTV.

Funciona tanto en redes de frecuencia única como multi-frecuencia, permite tasas de transmisión de 4.813 Mbps a 32.846 Mbps dentro de un canal convencional de televisión UHF/VHF y posee un gran alcance de cobertura. Este estándar deja la decisión de la compresión a discreción del transmisor debido a que las imágenes vienen separadas en componentes de video-objetos (VOC) y componentes de audio-objetos (AOC). Para el audio utiliza compresión MPEG-2 y AVS (Audio Video Standard). Se trabaja en anchos de banda de 6 y 8 MHz.

Utiliza TDS-OFDM (*Time Domain Synchronous – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y 8VSB como sistemas de modulación. El primero para definición estándar y el segundo para alta definición. Para movilidad, se crea CMMB (*China Multimedia Movil Broadacasting*) en donde se codifica la imagen utilizando compresión MPEG-4 H.264/AVS y codificación de audio DRA. Se considera la TV móvil como una extensión de televisión radiodifundida, es una norma hibrida con calidad a nivel terrestre-satelital.

II.2.5.4 Estándar ISDB-T

El “*Integrated Services Digital Broadcasting*” se ramifica en la transmisión de video digital por satélite (ISDB- S), por cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T que incluye terminales móviles). Es la norma Japonesa para las transmisiones de radio y televisión digital. Fue desarrollado desde 1980 hasta su creación en los años 90 por la ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) como consecuencia del auge de la HDTV. Es promovido por el grupo de expertos de la DiGEB (*Digital Broadcasting Experts Group*) de Japón, integrado por las principales transmisoras y fabricantes en el campo de la radiodifusión. Comenzó a operar en Japón desde Diciembre de 2003, presentando características relevantes tales como:

- **Calidad y flexibilidad del servicio:**

Se logra gracias al uso de las compresiones MPEG-2 para la codificación de video y MPEG-AAC para la codificación de audio. En este sistema todos los contenidos transmitidos como video, audio y datos son multiplexados en un paquete llamado “Flujo de Transporte” (*Transport Stream: TS*). Los contenidos de flujo, tales como video, audio y flujo de datos son convertidos al formato PES (Paquete de Flujo Elemental o *Packet Elementary Stream*) y finalmente convertidos a TS y multiplexados.

- **Modulación OFDM:**

Vale acotar que más adelante se integra una amplia investigación sobre la modulación OFDM, pero en este caso el canal se divide en trece segmentos llamándose “*Band Segment Transmission OFDM (BST-OFDM)*”. Cada uno de estos segmentos es una catorceava parte del ancho de banda del canal, es decir 6/14 MHz. el catorceavo segmento de los 6 MHz no se utiliza para dejar una pequeña banda de guarda en cada extremo del canal radioeléctrico. Esta banda de guarda a su vez, no tiene que estar simétricamente distribuida por mitades a los extremos del paquete de radiofrecuencia sino que se programa

dinámicamente de acuerdo a las posibilidades de menor interferencia de los canales adyacentes. En un mismo canal es posible disponer de tres grupos de segmentos diferentes. El agrupamiento de los segmentos permite transportar distintos servicios como recepción fija, móvil y portátil.

- **Entrelazado:**

Ocurre tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia obteniendo un código de corrección de errores que ofrezca robustez ante la movilidad, portabilidad y el ruido urbano. En un sistema de transmisión digital, generalmente se adoptan sistemas de corrección de errores para reducir la degradación causada por interferencias (incluyendo ruido térmico), ya que se tiene un mejor funcionamiento. Por lo tanto se adopta la tecnología “*Interleaving Time*” para el tratamiento aleatorio del error.

- **Servicio “One-Seg”:**

En particular, la utilización de un segmento del canal de 6 MHz para servicios de baja velocidad de transferencia se conoce como “One-Seg”. Consiste en transmitir imágenes en movimiento a teléfonos celulares, autos, computadoras personales, etc. Un terminal de este tipo podrá también recibir transmisión de datos enlazados con internet. Puede disfrutarse HDTV aun en un vehículo en movimiento, utilizando tecnología de recepción diversa (Onda Directa y Onda Reflejada).

El sistema se desarrolló y se probó con canales de 6 MHz, pero su capacidad puede escalarse a cualquier anchura del ancho de banda del canal modificando consecuentemente la capacidad de datos. También se ha desarrollado para permitir la recepción fija, portátil o móvil con diferentes velocidades binarias y grados de robustez. También ha sido diseñado para funcionar en redes SFN y tomando mayor énfasis en la movilidad.

Existe una variante de este estándar, desarrollada por Brasil y denominada SBTVD: Sistema Brasileño de Televisión Digital, el cual se describe a continuación.

II.2.5.4.1 Sistema Brasileiro de Televisión Digital (SBTVD o ISDB-Tb)

Partiendo del sistema ISDB-T, fue creado en Brasil por el comité de Desarrollo del sistema de Tv Digital conjuntamente con el Superintendente de Servicios de Comunicación de Masa. Los investigadores brasileiros tomaron. Las diferencias principales se conforman por la exigencia de la utilización de la codificación de video MPEG-4, lo que permite transmitir en el mismo canal un programa con calidad de alta definición (HDTV), informaciones de interactividad y programas adicionales con calidad de definición estándar (SDTV) y la introducción de un middleware propio denominado GINGA. Vale acotar que la transmisión para dispositivos móviles es igual a la del estándar Japonés. Entre sus fortalezas, destaca la posibilidad de combinar transmisiones de alta definición con las de definición estándar en un mismo canal.

En la transmisión, una o más entradas que contenga el flujo de transporte “TS” se deben re-multiplexar para crear un único TS. Dicho TS se somete a la etapa de codificación de canal múltiple de acuerdo a la intención de servicio, y entonces se envía como una señal OFDM común. La transmisión digital se realiza utilizando el “*Time Interleaving*” para poder proveer una codificación con la menor tasa de errores para la recepción móvil, al igual que ISDB-T el espectro de radiodifusión consiste en 13 bloques OFDM sucesivos, cada uno ocupando 1/14 del ancho de banda del canal de televisión. Un único canal de televisión debe ser usado simultáneamente para servicio de recepción fija, móvil y portátil (transmisión jerárquica). Cada capa jerárquica debe obligatoriamente consistir en uno o más segmentos OFDM. Parámetros como: esquema de modulación de portadoras OFDM, tasa de código interno y tasa de tiempo de entrelazado, pueden ser especificados por cada capa

jerárquica. Los parámetros de codificación de cada capa jerárquica y el número de segmentos pueden ser configurados por el radiodifusor.

Venezuela adopto esta norma para la transmisión de Televisión Digital Terrestre el 6 de octubre de 2009, bajo un anuncio que realizo el Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias, donde se desatoco que el apagón analógico ocurriría para el año 2020.

II.2.6 Arquitectura de la red de Televisión Digital Terrestre

El proceso de generación y recepción de la señal de Televisión Digital Terrestre desglosa en tres partes fundamentales: Etapa de transporte, etapa de transmisión y etapa de recepción (Véase Figura II.3).

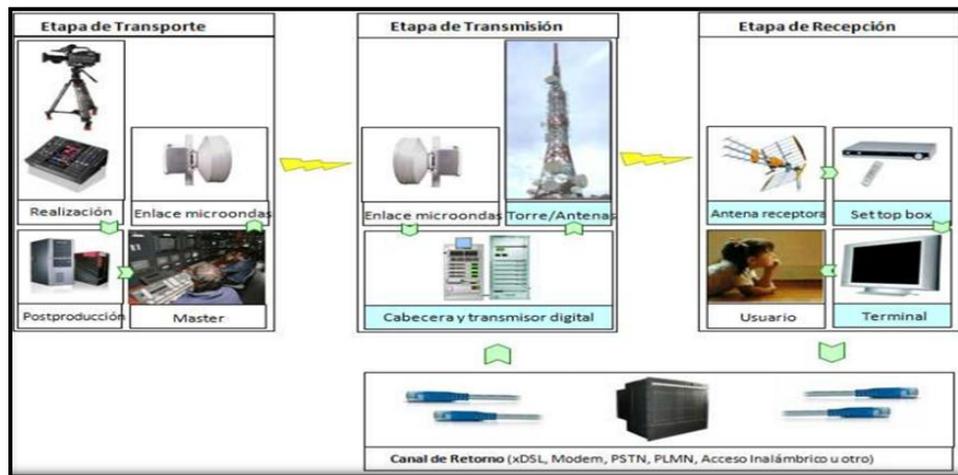


Figura II.3: Arquitectura de red en un sistema de TV Digital.

Fuente: (Bolívar & Héctor, 2011)

- **Etapa de Transporte:**

Abarca desde la producción del contenido en formato digital o analógico, pasando por la edición, digitalización y comprensión de la data original, hasta su

transmisión en la estación de difusión que puede ser mediante enlaces digitales de microondas o enlaces microondas.

- **Etapa de Transmisión o Difusión:**

La señal proveniente de la etapa de Transporte es introducida en una cabecera digital a través de codificadores y es tratada mediante un multiplexor. Luego es enviada a amplificadores de potencia y transmitida mediante un sistema radiante hacia una determinada zona de cobertura.

- **Etapa de recepción:**

Es la recuperación de la señal a través de antenas de viviendas individuales o colectivas y posterior decodificación para su visualización en el equipo terminal de televisión.

- **Etapa de retorno:**

Relativa a la transmisión de peticiones del usuario hacia la cabecera de la TDT. Esta transmisión se realiza a través de un medio que conecta al sintonizador o *Set Top Box (STB)*, con servidores de aplicaciones interactivas. Es importante resaltar, que el medio de transmisión tiene asociado un terminal de comunicación en el extremo del usuario y otro en el extremo operativo.

II.2.7 Televisión Interactiva

La interactividad en televisión es “todo aquello que convierte al espectador en un actor más de la comunicación y le permite la personalización de los servicios obtenidos desde su aparato receptor” (Perdrix & Lorés, 2002, pág. 2).

La televisión interactiva proporciona servicios que pueden encontrarse en otros medios tales como: juegos, comercio electrónico, banca online, servicios propios de

internet (correo, chat, web) etc. También fomenta servicios como televisión a la carta, guías electrónicas de programación (EPG), participación en concursos, entre otros.

La comunicación interactiva se entiende como un proceso dinámico e interdependiente entre emisores y receptores, propio de las posibilidades que ofrece el canal tecnológico para el intercambio de mensajes. Existe a partir del momento en que se establece una comunicación en doble sentido: del emisor al receptor y viceversa. El modelo actual de televisión, atiende a una dirección única basada en un modelo comunicativo basado en el papel pasivo de la audiencia. Integrando interactividad se agrega la posibilidad de apagar o encender la televisión, cambiar de canal, el teletexto, enviar mensajes de texto o llamadas a los programas de televisión, etc. En resumen, la televisión es un sistema cerrado basado en estructuras tecnológicas que se fundamentan en la capacidad de controlar la producción y el intercambio de información. La televisión interactiva rompe por completo esta estructura, porque sitúa al espectador como un posible demandante y generador de contenidos.

Existen múltiples modelos de interactividad que esquemáticamente se concretan según los siguientes parámetros:

- **Según el uso de la red:**

Se centra en la difusión y redifusión de la programación por otras plataformas, pero sin incorporar la interactividad; son emisiones lineales. No obstante, es frecuente que se introduzca la inteligencia de red para beneficiarse de determinados servicios como los de llamadas por telefonía fija o móvil, votaciones y otras actuaciones de los usuarios por una red diferente a la de la emisión, como ocurre en la inmensa mayoría de los programas de la televisión analógica y digital con el objeto de obtener ingresos económicos diferentes a los de la publicidad.

- **Según el tiempo de uso real de cada usuario:**

En este caso se crea interactividad sincrónicamente mediante el uso de un menú de visualización de los contenidos y de los servicios ofrecidos por el operador. O bien en asincronía, mediante una grabación en un soporte para usos en tiempos diferidos o mediante contenidos conservados en el televisor para que el usuario entre cuando quiera en ellos como en los de la Guía Electrónica de Programación (GEP).

- **Según la vinculación con la programación:**

Existen servicios referidos al acceso de canales de televisión, emisoras de radio, canales de servicios o menús generales de uno o varios canales. Adquieren especial renombre los servicios de la GEP, que es una información sobre la programación de todos los canales organizada sobre la oferta del día o sobre días futuros con diversos modos de acceso: programa a programa, recorrido por la programación, fichas completas de programas. Junto a estas ofertas aparecen otros canales dedicados exclusivamente a servicios como los de las entidades bancarias, los de tele-tienda, estado del tiempo, etc.

- **Según los sistemas técnicos de emisión:**

Se refiere a la interactividad introducida en la TDT o TDS, mediante otro canal de retorno como el de la telefonía, y en TDC o ADSL con un retorno por el mismo canal de emisión según la capacidad de ancho de banda, pero con asimetría entre la oferta y la respuesta.

En el caso de las emisiones de TDC, el retorno puede establecerse por el mismo medio, pero no es así en el caso de TDT y TDS. En estos casos, la comunicación de retorno del receptor al emisor suele realizarse mediante el uso de otra tecnología.

II.2.8 Aplicaciones Interactivas

Son servicios que sirven de interfaz entre el usuario y el proveedor del servicio. Pueden ser vistas como servicios complementarios a la programación televisiva, representando una experiencia nueva para la gran mayoría de los venezolanos que apenas cuentan con el sistema de TV analógica abierta actual. Existen diversos tipos de aplicaciones interactivas ya puestas en práctica en varios países, entre las cuales se encuentran:

- Mensajería: SMS a programa en vivo, envío y recepción de correos.
- Concursos
- *Reality Shows*
- Tele-Medicina
- Deportes: estadísticas de juegos.
- Noticias: pantalla y solo texto.
- Música: pantalla y votaciones.
- Informativos: tráfico, educativos, financieros, meteorológicos, etc.
- Compras.

En Venezuela, el Centro Nacional de Tecnologías de Información (CNTI) trabaja en el desarrollo de dos aplicaciones interactivas que acompañaran la implementación de la TDT en el país. Dichas aplicaciones están relacionadas con el portal web “Gobierno en línea” y con la emisión de noticias que se generen en portales informativos oficiales, además de información meteorológica del territorio nacional.

II.2.9 Set Top Box (Sintonizador)

Tiene un papel fundamental en la implementación de la TDT, puesto que gran parte de la población cuenta con televisores incapaces de recibir la señal digital. Por esta razón, se necesita un equipo que les permita a los televisores analógicos recibir la señal.

Podemos clasificarlos en tres categorías: *Broadcast TV*, *Enhanced TV* y *Advanced Services*, las cuales se describen a continuación:

- ***Broadcast TV***: Son utilizados en servicios tradicionales de TV adicionando un sistema básico de navegación (recibiendo la señal en formato digital). Disponen de una cantidad limitada de memoria, número de puertos de interfaces y una capacidad de procesamiento limitada.

- ***Enhanced TV***: Incluyen un canal de retorno (que posibilita comunicaciones bien sea por e-mail o por chat), soportan comercio electrónico, video bajo demanda y un navegador para conexión a internet. También tienen una capacidad de procesamiento y de memoria mayor en relación a los de tipo *Broadcast TV*.

- ***Advanced Services***: Presentan una velocidad de procesamiento cerca de 10 veces superior a los de *Broadcast TV*. En conjunto con el canal de retorno de elevada velocidad, permiten acceder a una diversidad de servicios interactivos y de internet. Habitualmente, vienen asociados a un disco duro incorporado.

Genéricamente un Set Top Box se compone de la siguiente manera descrita en la Figura II.4, en donde podemos observar la existencia de un nivel de aplicaciones, responsables de promover los contenidos y servicios que pueden ser producidos en una transmisión de TV Digital. Luego el Middleware, que tiene la función de realizar una interface entre el hardware y las aplicaciones. En el siguiente nivel se tienen los componentes multimedia de decodificación y codificación, así como los otros módulos de multimedia. Posteriormente el sistema operativo, responsable del funcionamiento del hardware, quien por último, está constituido por un CPU, dispositivos de almacenamiento de entrada y salida, decodificación, sintonización, etc.

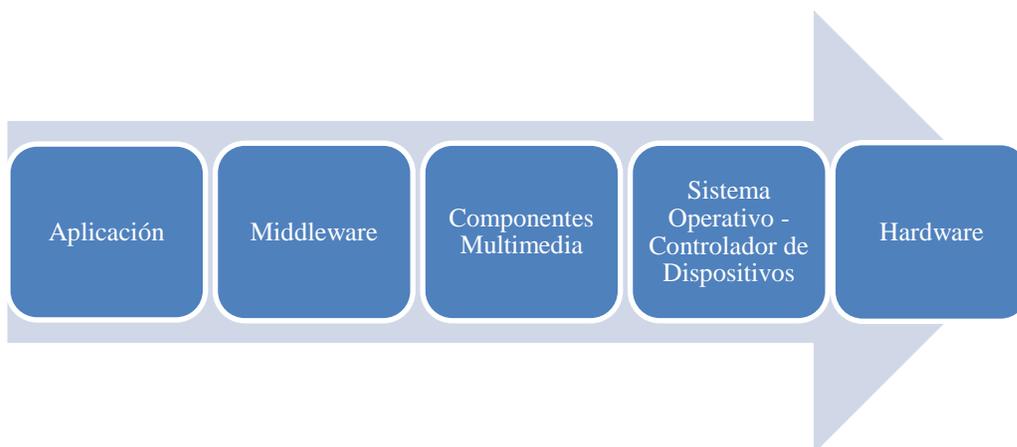


Figura II.4: Arquitectura de un Set Top Box Convencional.

Fuente: Propia

A su vez, el hardware se divide en tres partes fundamentales, que son:

- **Etapa Inicial:** aquí se realiza la recepción de la señal proveniente del medio de transmisión terrestre. El sintonizador selecciona la frecuencia de recepción y modula en banda base la señal de entrada. La señal es muestreada para crear su representación digital, la cual es realizada por el convertor analógico/digital. Luego viene la demodulación y corrección de error de la señal.
- **Etapa Intermedia:** es la interfaz de transporte de control, aquí se realiza la de multiplexación del flujo en formato MPEG que separa audio, video y datos contenidos en el flujo de transporte. La selección de paquetes de audio, videos o datos es realizada de acuerdo a las acciones del usuario, que son llevadas a la CPU por las interfaces de entrada y salida.
- **Etapa Final:** comprende los decodificadores de audio y video y la salida para las señales de para la TV. Aquí se realiza la decodificación del flujo MPEG que fue seleccionada en la etapa intermedia. Este flujo es convertido nuevamente en una señal

analógica, modulada en banda base y enviada para ser vista en un equipo de TV convencional.

II.2.10 Middleware

Es el sistema que enlaza el software y el hardware. Vale acotar que cada estándar de TDT ha desarrollado su propio Middleware. En el caso del ISDB-Tb, se le denominó “GINGA”.

II.2.10.1 GINGA

Desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro en el ámbito declarativo (Utilizan lenguaje NCL, GINGA -NCL) y la Universidad Federal de Paraíba en cuanto al ambiente procedural del sistema (Desarrolladas con Java, GINGA -J). El uso de ambos lenguajes es obligatorio en los sintonizadores, mientras que para los terminales portátiles la utilización de GINGA -NCL es obligatoria y el GINGA -J es opcional.

- **GINGA -NCL:**

Provee una infraestructura de presentación para aplicaciones interactivas de tipo declarativas escritas en el lenguaje NCL, el cual representa facilidades en aspectos de interactividad.

- **GINGA-J:**

Un componente clave al ser el mecanismo de ejecución del contenido procedimental que tiene como base la máquina virtual de Java.

- **GINGA Common Core:**

Es el núcleo de presentación y ejecución (GINGA-J, GINGA-NCL). Este subsistema es el puente con el hardware, aquí es donde se

accede al sintonizador de canales, sistema de archivos, terminal gráfico, entre otros. Está compuesto por decodificadores de contenido común, los cuales sirven para aplicaciones de tipo declarativas como para las de tipos procedimentales.

GINGA permite la posibilidad de poder presentar los contenidos en distintos receptores independientemente de la plataforma de hardware del fabricante y del tipo de receptor.

II.2.11 Canal de Retorno

Es un medio de transmisión que conecta el receptor de TV con el operador. La televisión convencional se caracteriza por su flujo de información unidireccional: desde el operador hacia los usuarios, de modo que sólo es necesario un canal de transmisión: el de difusión. En cambio, en la televisión interactiva, los usuarios desempeñan un papel activo e influyen en el contenido visualizado. En algunos casos, es preciso que exista un canal de retorno, para hacer llegar la interacción del usuario hasta el operador. La incorporación del canal de retorno en el sistema de televisión digital puede realizarse de dos formas, según la ubicación de los datos relativos a la interactividad de bajada (desde los servicios de aplicaciones interactivas hacia los usuarios) y de subida (desde los usuarios hacia los servidores de las aplicaciones):

- **Escenario 1:**

La red de difusión se utiliza exclusivamente para audio y video. Por otra parte, el canal de retorno se utiliza para enviar el tráfico relativo a interactividad en ambos sentidos, volviéndose un canal bidireccional.

- **Escenario 2:**

En contraposición al escenario 1, se utiliza el canal de difusión para el envío de datos relativos a la interactividad hacia adelante. los datos de interactividad hacia

atrás se envían por la red de interacción. En este caso se utiliza el canal de retorno como un canal unidireccional.

A nivel mundial son muchos los países que han adoptado normas de TDT, aunque son pocos los que han implementado un canal de retorno. En estos casos particulares, el canal de retorno idóneo es el implementado con un modem V.90 integrado a los decodificadores y conectado a la red de cada país. Por otra parte, también se ha implementado como alternativa el servicio de mensajería de telefonía móvil (SMS) como canal de interacción con los servidores de algunas aplicaciones interactivas. El canal de retorno puede implementarse sobre la línea telefónica, redes de cable, redes móviles, redes de acceso radio, etc. Es posible emplear soluciones Modem, Ethernet con servicio ADSL o cable Modem, mediante combinación de tecnologías como Bluetooth y GPRS/UMTS, o nuevas redes cableadas o inalámbricas: PLC, WiMAX, Wi-Fi, etc.

Para efectos de este trabajo especial de grado, estudiaremos la tecnología Power Line Communications (PLC) como canal de retorno para los servicios de interactividad de la Televisión Digital Terrestre.

II.3 La Red Eléctrica

A través de los años, la energía eléctrica ha representado una fuente imprescindible para el desempeño diario del hombre, ya que ha sido la forma de energía más empleada en la vida cotidiana. Esto se debe a que además de poder transformarse en energía luminosa (para generar luz eléctrica) se puede transformar en energía mecánica y térmica, dando cabida al desarrollo de: aparatos, maquinas, instrumentos y dispositivos que funcionen a partir de la electricidad como fuente de alimentación. No obstante, para que la energía eléctrica llegue a su destino final, debe ser previamente generada, ya sea en: centrales termoeléctricas, hidroeléctricas,

eólicas, solares, geo-termo-eléctricas, nucleares, de turbo-gas o centrales de ciclo combinado.

Una vez generada la energía eléctrica, se procede a su transporte hacia las centrales distribuidoras. Este proceso se realiza mediante el uso de las líneas de alta tensión (o red de transporte), sirviendo como vía troncal para el transporte eléctrico. Las líneas de media tensión (o red de distribución) serán las encargadas de llevar la energía de estas centrales distribuidoras hacia las ciudades y pueblos. Finalmente se emplean transformadores de media a baja tensión para que la energía pueda ser utilizada por los aparatos domésticos.

II.3.1 Topología de la Red Eléctrica

En la Figura II.5 se muestra un esquema con las diferentes partes que conforman la red eléctrica.

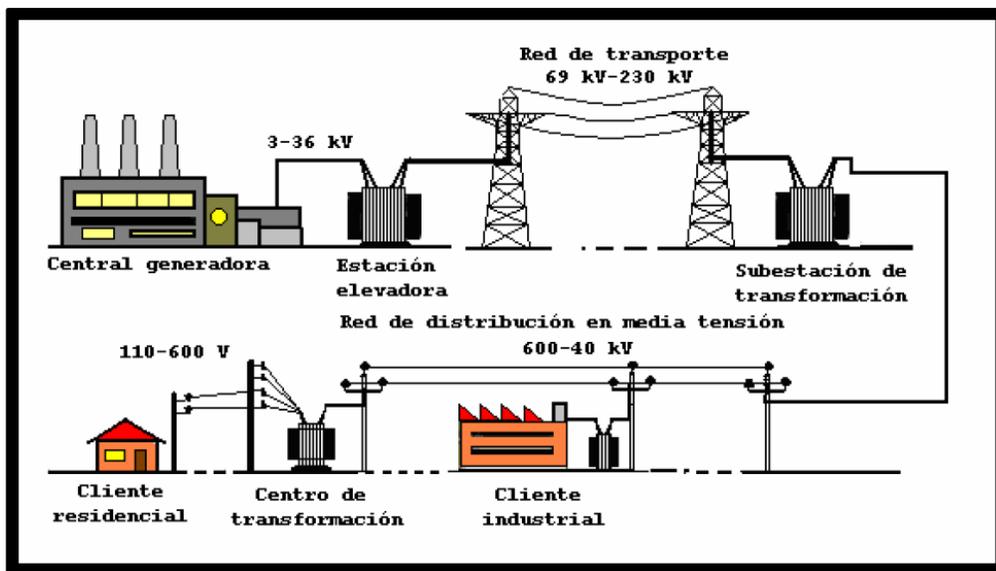


Figura II.5: Esquema de la red eléctrica.

Fuente: (Quizhpi & Ruiz, 2007).

Ampliando un poco lo antes explicado y valiéndonos de la Figura II.5, esquematizaremos las diferentes partes que conforman la red eléctrica partiendo de las centrales generadoras:

a) **Centrales generadoras – Estaciones Elevadoras:**

En esta primera etapa se manejan valores de media tensión (3 – 36 kV). Una vez en las estaciones elevadoras de voltaje se cumple la tarea de elevar el voltaje de la energía eléctrica, esto con el fin de optimizar su posterior transmisión.

b) **Estación Elevadora – Subestación de Transformación:**

Para este tramo se emplean las líneas de alta tensión, también llamadas líneas de transporte, ya que en esta etapa se manejan valores de entre 69 – 230 kV y su función es servir de vía troncal para la transmisión de la energía eléctrica.

c) **Subestación de Transformación – Cliente Industrial:**

Cuando la energía llega a la subestación de transformación se procede a realizar un cambio de alta a media tensión.

d) **Cliente Industrial – Centro de Transformación:**

Se le llama cliente industrial a las empresas encargadas de manejar los tendidos de media tensión hacia las ciudades y pueblos. En este tramo se manejan valores de entre 600 – 40kV.

e) **Centro de Transformación – Cliente Residencial:**

Finalmente, son los centros de transformación los encargados de acondicionar la energía de media a baja tensión, para que pueda ser usada por los llamados clientes residenciales, ya sean hogares o empresas.

Es importante señalar que según el artículo 4 del capítulo I del reglamento de la ley de servicio eléctrico N°308, 193 y 144, dictada el 18 de Noviembre del año 2003 por el Ministerio de Energía y Minas, se determina lo siguiente:

- **Alta Tensión:** es un nivel de tensión mayor o igual que 69 Kv.
- **Media Tensión:** es un nivel de tensión mayor que 1kV y menor que 69 kV.
- **Baja Tensión:** es un nivel de tensión menor o igual que 1 kV.

De la misma forma, en el Artículo 6, se define en 60 Hz la frecuencia de la tensión en el sistema eléctrico venezolano. El tendido de baja tensión puede dividirse en dos ambientes:

- **Ambiente Externo:**

Es el que recae bajo la responsabilidad de la empresa encargada de suministrar el servicio eléctrico, es la línea que se utiliza para el alumbrado público y que además surte de energía a los hogares o empresas.

- **Ambiente Interno:**

Este ambiente cae bajo la responsabilidad del cliente final. Por lo general, son los contadores de energía eléctrica los límites entre estos ambientes.

En la Figura II.6 se muestra un diagrama de la red eléctrica en función de sus líneas de tensión.

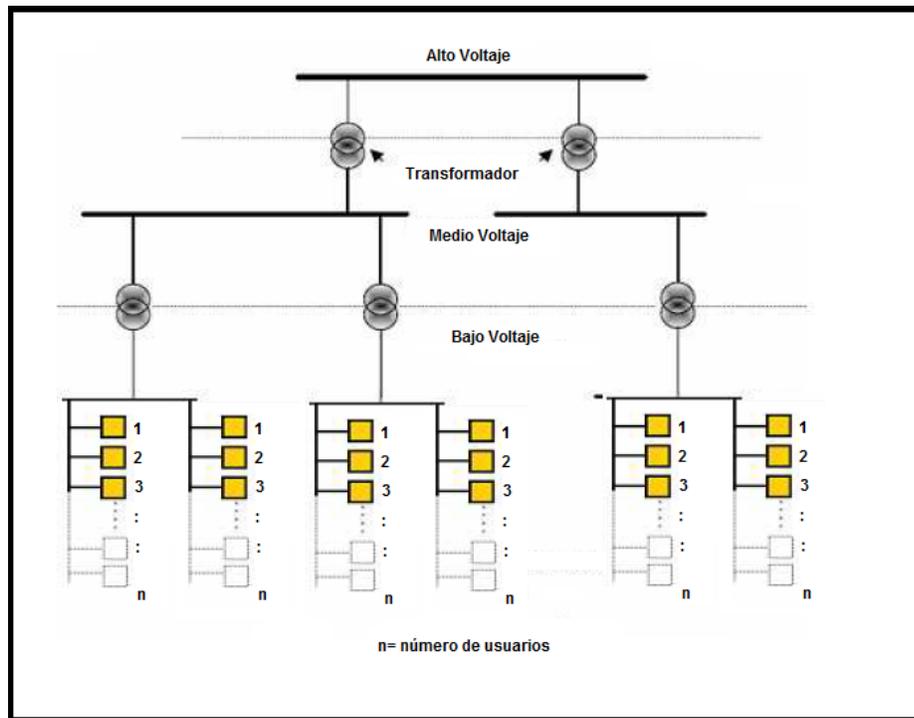


Figura II.6: Diagrama de la red eléctrica.

Fuente: (Rivero, 2008).

II.3.2 Parámetros Técnicos

Las líneas de alto voltaje pueden ser descritas como un modelo de una sola fase que consta de dos conductores paralelos con características típicas de una línea de transmisión. Una línea de transmisión es una red de parámetros distribuidos y por ello debe describirse con parámetros de circuitos distribuidos a lo largo de ella. Las constantes eléctricas básicas de una línea de transmisión son parámetros por unidad de longitud:

- **Resistencia en serie (R), Ω/m**
- **Inductancia en serie (L), H/m**
- **Capacitancia de derivación (C), F/m**
- **Conductancia de derivación (G), S/m**

La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea y constituyen la impedancia distribuida en serie, mientras que entre los dos conductores ocurre la capacitancia y la conductancia que corresponde a la admitancia distribuida en paralelo (ver Figura II.7). La resistencia, conductancia y capacitancia aumentan con la longitud de la línea, mientras que la conductancia tiene una fuerte dependencia por el tipo de aislamiento del cable. Estos parámetros por unidad de longitud influyen en la capacidad de transmitir datos a través de las líneas de transmisión, ya que determinan las propiedades utilizadas para transportar señales de telecomunicaciones.

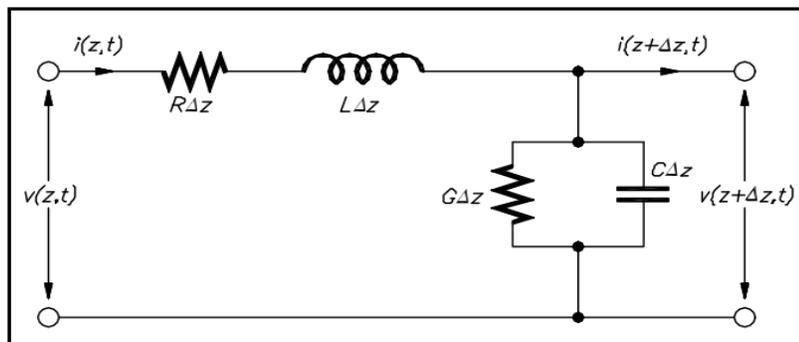


Figura II.7: Circuito equivalente de una línea de transmisión

Fuente: (Minchala, 2006)

Otro parámetro importante a considerar es la impedancia característica Z_0 de las líneas, la adaptación de la impedancia de la línea con los equipos de comunicaciones garantizan que no se produzcan reflexiones u ondas estacionarias que perjudiquen la calidad de la información a ser transmitida o recibida. Las reflexiones son ocasionadas por discontinuidades en los valores de la impedancia característica a lo largo de la línea, por ejemplo variaciones en las distancias entre conductores o una carga no adaptada. Cuanto más precisa, estable y uniforme se represente una línea en relación a sus propiedades dimensionales, eléctricas y de construcción, mejor será su desempeño. Las constantes derivadas de una línea de transmisión son la impedancia característica y la constante de propagación, y se determinan mediante las constantes primarias (R, L, C, G).

Las señales de datos se ven afectadas por la impedancia característica Z_0 y la impedancia de carga. La impedancia característica es la relación entre la tensión y las corrientes viajeras a lo largo de la línea de transmisión. Z_0 se expresa como:

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \Omega$$

Dónde:

Z_0 = Impedancia de la línea;

R = Resistencia de la línea;

L = Inductancia de la línea;

C = Capacidad de la línea;

G = Conductancia;

$\omega = 2\pi f$;

j = Operador imaginario

La impedancia de carga modela la impedancia de entrada del equipo que se sitúa al final de línea para recibir y procesar la señal, se procura entonces, que el valor de Z_L sea el conjugado de Z_0 , esto evita que se produzca reflexiones de onda en el punto donde se conectan la línea y el equipo.

- **Constante de Propagación:**

Se utiliza para expresar la atenuación (perdida de la señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. A medida que se propaga una onda por una línea de transmisión su amplitud se reduce con la distancia recorrida. La constante de propagación se utiliza para determinar la reducción en tensión o corriente por la distancia, conforme una onda electromagnética se propaga a lo largo de una línea de transmisión.

Matemáticamente la constante de propagación se expresa:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(R + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

Dónde:

γ = constante de propagación;

α = coeficiente de atenuación;

β = coeficiente de desplazamiento de fase

II.3.3 Interferencias en las Señales de Transmisión

Dependiendo de su origen, las interferencias en las señales de transmisión se desglosan en 2 clases: Interferencias internas e interferencias externas. Procederemos a explicar cada una de ellas.

II.3.3.1 Interferencias Internas

De esta manera se catalogan las perturbaciones posibles dentro de la estructura física del sistema eléctrico, producidas por fallas, descargas o conmutaciones. Pueden ser impredecibles y presentarse en periodos cortos o de larga duración, afectando parámetros importantes como: variaciones de la frecuencia nominal en la que viaja la energía (60 Hz), variaciones en la forma de onda (ya que los equipos deben recibir ondas de gran correlación sinusoidal) y cambios de amplitud máxima en las ondas de voltaje y/o corriente (manteniendo 60 Hz).

Las causas más frecuentes de estas interferencias son los aparatos de alto consumo eléctrico, tales como ascensores, refrigeradores, neveras, lavadoras, sistemas de aire acondicionado y cualquier equipo que requiera potencia para generar el flujo electromagnético que pone en funcionamiento motores, equipos de refrigeración, lámparas fluorescentes y transformadores. Al encender este tipo de equipos se pueden producir caídas de tensión, lo cual representa otro tipo de

interferencia relevante. Sin embargo, los tipos de fallas más comunes en el sistema eléctrico, son las fallas fase-tierra, las cuales producen una elevación de voltaje en las fases sanas, cuyo valor depende principalmente del grado de puesta a tierra. En sistemas aislados de tierra, las sobretensiones en las fases sanas pueden ser superiores a 1,73pu. En sistemas efectivamente puestos a tierra las sobretensiones en las fases sanas llegan a 1,4pu. Las fugas de corriente en la red de tierra se produce debido a los efectos de aislamiento en equipos y cables, cuando un conductor eléctrico tiene problemas de aislamiento y hace contacto con una superficie extraña (pared, parte metálica, etc.) se produce una filtración de la corriente hacia la tierra. El voltaje filtrado aparece como corriente en el sistema de tierra que tiene frecuencias muy altas (hasta 100KHz), y que no están sincronizadas con la frecuencia comercial.

Otro tipo de interferencia es el ocasionado por sobretensiones producidas por la pérdida súbita de carga, lo que se conoce como rechazo de carga. Como en un sistema eléctrico la generación de energía debe corresponder a la cantidad de energía demandada a cada momento, se dan los casos en los que la cantidad de energía generada es superior a la demandada, creando un exceso de energía que incide en forma de energía cinética en los rotores generadores, acelerándolos y de esta manera aumentando la frecuencia del sistema. De la misma manera se da el caso en el que la cantidad de energía demandada es superior a la generada, produciéndose un déficit de energía que terminara desacelerando los rotores generadores, disminuyendo de esta manera su frecuencia. Estos desequilibrios se deben a variaciones en la demanda o pérdidas en la generación de la energía, por tanto, la manera más eficiente de reequilibrar la generación y la demanda es mediante la desconexión de la carga.

Por otro lado tenemos el aumento del nivel de armónicos en las redes eléctricas, causado por la proliferación de los dispositivos de electrónica de potencia. Los armónicos son señales sinusoidales de corrientes y/o voltajes con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Para sistemas de 60Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son, por ejemplo: la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y

séptima (420 Hz). Los armónicos se suman a la señal de frecuencia fundamental, deformando las características de la onda senoidal original. Sin embargo, no solo las señales armónicas fundamentales deforman a la señal de frecuencia fundamental. En la zona cercana al quinto armónico pueden encontrarse armónicos no característicos catalogados como interarmónicos. Estos suelen producirse en convertidores AC/DC, los cuales generan corriente alterna a partir de corriente continua.

II.3.3.2 Interferencias Externas

Los parámetros de frecuencia, longitud de onda y amplitud de la señal también se ven afectadas por interferencias externas a la red eléctrica. Las condiciones climáticas se encuentran dentro de las más relevantes, ya que por medio de lluvias, viento, descargas atmosféricas, etc., pueden no solo interferir sino destruir una red. Las interferencias se presentan por el ruido en la línea eléctrica, interferencias de radiofrecuencia e interferencias electromagnéticas.

El ruido representa una señal eléctrica indeseable que se superpone a las señales de voltaje y/o corriente. Su contenido espectral es de un ancho de banda menor a 200 kHz, sin embargo en ambientes industriales y domésticos, la energía afectada por este fenómeno crece en la banda de 100 kHz a 300 MHz, comprometiendo el buen funcionamiento de equipos en general. Existen varios tipos de ruidos:

- **Ruido Eléctrico**

Se produce por conexiones defectuosas o perturbaciones atmosféricas, generando señales de alta frecuencia que se sobreponen a la señal eléctrica. Se puede solucionar mediante un regulador de voltaje que garantice un buen filtraje.

- **Ruido Síncrono**

Se le da este nombre ya que mantiene sincronía con la frecuencia fundamental (60Hz). No es un fenómeno que ocurra frecuentemente pero cuando

ocurre puede durar varias horas. Es producido por rectificadores controlados de silicio, el cual conmuta cuando la tensión cambia a cierto valor.

- **Ruido Asíncrono**

Se le da este nombre ya que no mantiene relación con la frecuencia fundamental (60 Hz) ni con armónicos superiores. Es generado por monitores de televisión y computadoras, y ocurren a frecuencias conocidas.

- **Ruido de Fondo**

Es un caso de Ruido Gaussiano, siempre está presente en los sistemas eléctricos y está dado comúnmente por un espectro plano. Es de naturaleza estocástica, se puede considerar una señal estacionaria y tiene una densidad espectral de energía relativamente baja que decrece a medida que aumenta la frecuencia. Lo generan los transformadores de distribución, el sistema de alumbrado público, etc.

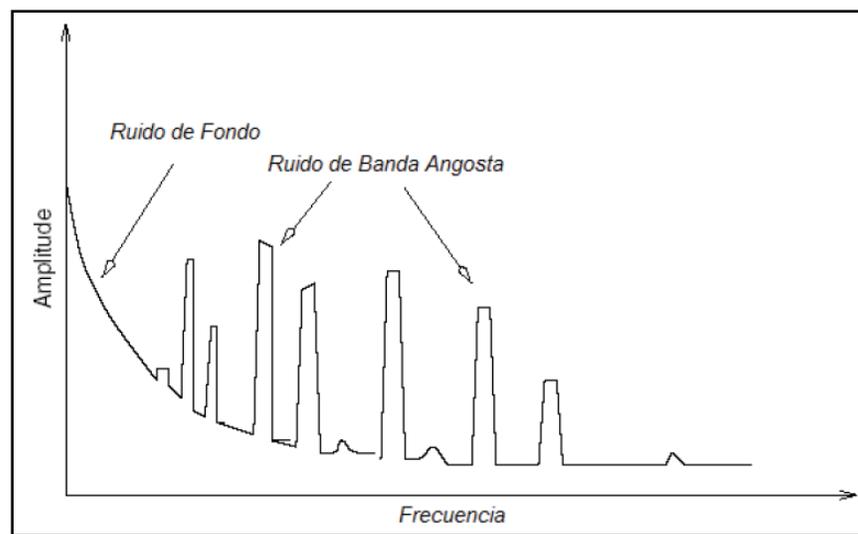


Figura II.8: Densidad Espectral Del Ruido De Fondo Generalizado

Fuente: (Minchala, 2006, pág. 39).

- **Ruido de Banda Angosta**

Se le da este nombre porque en el dominio de la frecuencia ocupa un espectro muy pequeño y se denota por valores de amplitud de forma aguda por debajo de 150 kHz. Es causada por estaciones de radio, convertidores de frecuencia, monitores, televisores o lámparas fluorescentes.

- **Ruido Impulsivo**

Se encuentra generalmente en el rango de 50 kHz a 200 kHz, denotándose por picos de voltaje con amplitudes (que pueden alcanzar más de 2 Kv) que saturan cualquier receptor por cortos periodos de tiempo, haciendo imposible su filtrado. Es causado por las operaciones de conmutación, tales como el encendido o apagado de cargas conectadas a la línea.

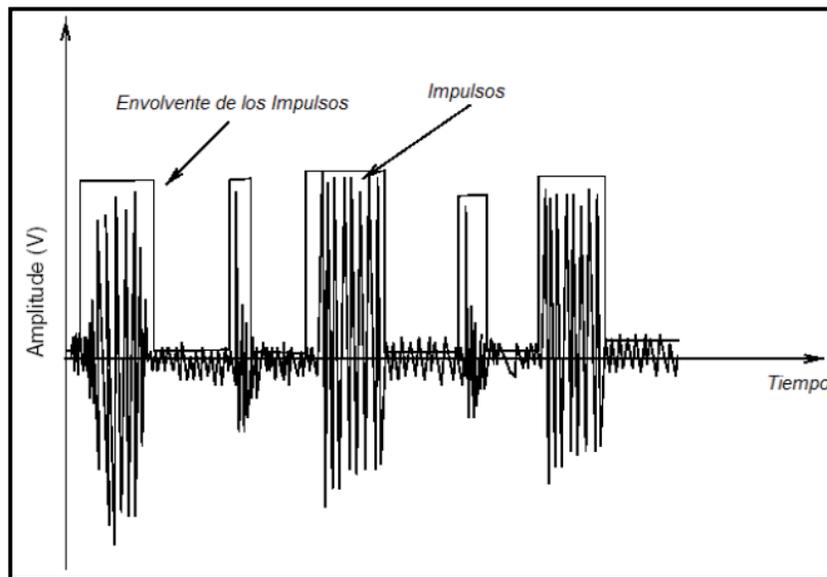


Figura II.9: Señales De Impulsos En Una Red PLC

Fuente: (Minchala, 2006, pág. 38) .

Se debe considerar que a mayores valores de frecuencia de transmisión en un sistema de cableado, más críticas son las propiedades referentes a la

inmunidad a interferencias. En la Figura II.10, se representa como los diferentes tipos de ruidos se suman a la señal total.

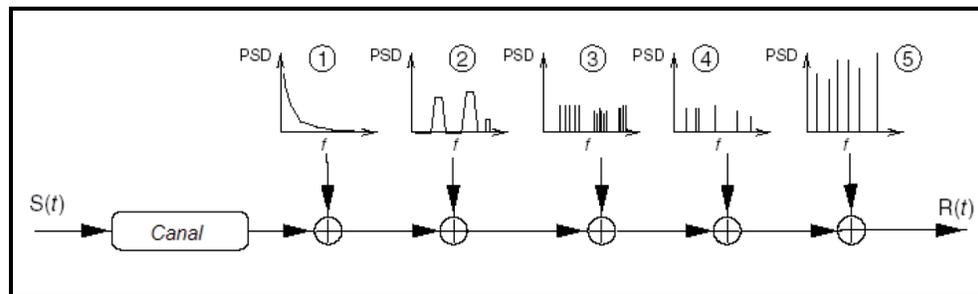


Figura II.10: Tipos de Ruido Presentes en Ambientes PLC.

Fuente: (Minchala, 2006, pág. 40).

II.3.3.3 Tipo de Inmunidades a Interferencias

Se distinguen tres variantes:

- Contra campos electromagnéticos radiados y conducidos por líneas eléctricas.
- Contra sobretensiones transitorias.
- Por descarga de electricidad estática.

Las magnitudes de interferencias que se producen con mayor frecuencia para una red de datos son campos radiados, la pérdida de los paquetes de datos transmitidos en caso de perturbación por lo que se debe volver a transmitirlos, esto aumenta la carga de red del sistema. Se debe considerar que las características de alta frecuencia de la instalación eléctrica de los hogares no han sido especificadas contrariamente de los que sucede en teléfonos, antenas o cables de red. Esto se debe a que los valores de la red eléctrica son inconstantes al no contar con blindaje y al cambio continuo de la impedancia y los factores de interferencia por conectar o desconectar equipos, además se obtienen muy diferentes entornos. Esto demuestra

que no se puede garantizar al 100% el desempeño o el alcance de una red de datos a través de las líneas de transmisión eléctrica.

II.3.4 Las Líneas Eléctricas Como Medio de Transmisión

La línea convencional de media tensión es semejante a las líneas de comunicaciones desde el punto de vista constructivo, ya que permiten cierta libertad de movimientos entre conductores. Las líneas de red trenzada utilizan cables blindados de construcción geométrica semejantes a las utilizadas en las telecomunicaciones. De esta forma presentan un comportamiento a los cables coaxiales diseñados para tal fin, y poseen características de impedancia característica uniforme, inmune a captar señales y radiaciones externas. Estas semejanzas sugieren que para la transmisión de frecuencias elevadas tendrán un mejor desempeño en comparación con otros tipos de líneas, sus limitaciones se deben al uso del material dieléctrico el cual es inadecuado para altas frecuencias y presentan una mayor atenuación que las líneas de transmisión convencionales.

II.3.4.1 Características Favorables

Contar con un medio de transmisión ya instalado, como el canal eléctrico, implica el aprovechamiento de un sistema de cableado universal, con un alcance mucho mayor al que posee cualquier sistema de telecomunicaciones. De la misma manera, los costos referentes al despliegue de una infraestructura de transmisión de datos se reducen enormemente, ya que no se requiere de obras o cableados adicionales. Por otro lado, el hecho de transmitir datos sobre el canal eléctrico no afecta la calidad del servicio eléctrico.

II.3.4.2 Características Adversas

El canal eléctrico no es un medio de transmisión de características constantes. La atenuación, el ruido constante y la impedancia de canal, varían en frecuencia a través del tiempo creando interferencias que dificultan la transmisión de datos.

Además de estos parámetros, el tipo de acoplamiento, la longitud del canal, la frecuencia portadora y los tipos de transformadores utilizados en la red eléctrica, son otras características de las cuales depende la transmisión de señales de datos por medio del canal eléctrico, por lo tanto, es preciso estudiar cada uno de estos factores.

Por definición, la atenuación es la reducción de la potencia de una señal a medida que se incrementa la distancia y la frecuencia. Es este el factor que más limita la capacidad del canal eléctrico para la transmisión de datos. La señal va atenuándose por las pérdidas resistivas en los conductores, la emisión electromagnética al ambiente, la radiación, el acoplamiento, las pérdidas en el dieléctrico y por las cargas conectadas a la red (transformadores, electrodomésticos, etc.), las cuales causan desadaptaciones de impedancia que producen reflexiones en la línea eléctrica, afectando el valor de la impedancia característica dependiendo del tramo de red. Las reflexiones también pueden ocurrir por las discontinuidades causadas por la interconexión de algunos tramos con otras redes que tengan una impedancia característica menor como también por los distintos tipos y tamaños de cable utilizados en la red. El estado del tendido eléctrico es un factor determinante. Si este se encuentra en mal estado, ya sea por su antigüedad, falta de mantenimiento, falta de aislamiento, o empalmes mal hechos, no será posible transmitir datos sobre la red.

II.4 Tecnología Powerline Communications (PLC)

II.4.1 Origen y Evolución de la Tecnología PLC

La medición del consumo eléctrico juega un papel importante en las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, por lo cual, se desarrollaron tecnologías con el fin de realizar estas mediciones con mayor efectividad. De esta manera, en 1920, se desarrolla la idea de aprovechar el tendido eléctrico ya existente para controlar y transmitir los datos de las mediciones del consumo eléctrico, y a su

vez, transportar la energía eléctrica. Esto implicó una reducción de costos en comparación con las otras alternativas, lo cual fue clave para el posterior desarrollo de aplicaciones, en base a este método, el cual se patenta bajo el término Powerline.

Pasaron 2 años para que en 1922, se haga uso por primera vez de un sistema de frecuencia portadora en líneas de alta tensión, y 8 años más, para que en 1930, se use en líneas de media y baja tensión utilizando la señalización de onda portadora. De esta manera se logra transmitir datos en frecuencias de 125 Hz y 3kHz. 6 décadas más tarde, en 1997, en Canadá e Inglaterra se comercialice esta tecnología al presentar la idea de acceder a Internet mediante la red eléctrica. No fue hasta el año 2004 que la FCC (*Federal Commission of Communications*), muestra su apoyo a la tecnología PLC, adoptando reglas para facilitar su despliegue en los EEUU.

II.4.2 Definición de la Tecnología PLC

Power Line Communications (PLC) es el nombre genérico de la tecnología que nos permite establecer comunicaciones mediante líneas eléctricas, con el fin de hacer posible la transmisión de voz, datos y video aprovechando el tendido eléctrico de baja tensión. Vale acotar que PLC es también el acrónimo utilizado para referirse a los Controladores Lógicos Programables (*Programmable Logic Controller*) aunque a fines de este trabajo de grado utilizaremos la definición antes expuesta.

El uso de las redes eléctricas para establecer comunicaciones se basa en la idea de aprovechar la cobertura universal con la que cuenta el tendido eléctrico, el cual alcanza a dar servicio a más de la mitad de la población humana. De esta manera se evita la instalación de cableado, disminuyendo los costos de manera considerable. (Mantilla & Oña, 2009) Encontraron lo siguiente “La tecnología PLC se denomina en forma diferente dependiendo del país y el organismo que la estudie PLC/PLT *Power Line Communications/Power Line Transmisión* según ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*). DPL/BPL *Digital Power Line/ Broadband*

Over Power Line según FCC (*Federal Communications Commission*) en los Estados Unidos de Norteamérica.”

La tecnología PLC hace posible la transmisión de voz y datos a través de la línea eléctrica doméstica o de baja tensión. Esta tecnología hace posible que conectando un módem PLC a cualquier enchufe de nuestra casa, podamos acceder a Internet a una velocidad entre 2 y 20 Mbps.

En contraposición a las redes de telecomunicaciones, las redes eléctricas tienen una cobertura universal, alcanzando a dar servicio a más de la mitad de la población humana. Si de alguna manera fuera posible utilizar este tipo de redes para transmitir información, se tendrían cubiertos todos los bucles de abonado a muy bajo costo, puesto que la red eléctrica ya está desplegada. La tecnología PLC consigue este objetivo.

Desde el punto de vista de la transmisión de la información a través de las redes eléctricas, los principales inconvenientes son los altos niveles de ruido, la atenuación y la distorsión elevada y el hecho de que las altas frecuencias no atraviesan los transformadores de distribución eléctrica.

II.4.3 Estructura PLC

Tiene una relación directa con la estructura de la red de distribución de media y baja tensión eléctrica por ser su canal de transmisión. Sin embargo, La red PLC cuenta con diferentes sistemas para hacer posible la adaptación de los datos al medio en cada segmento de su estructura.

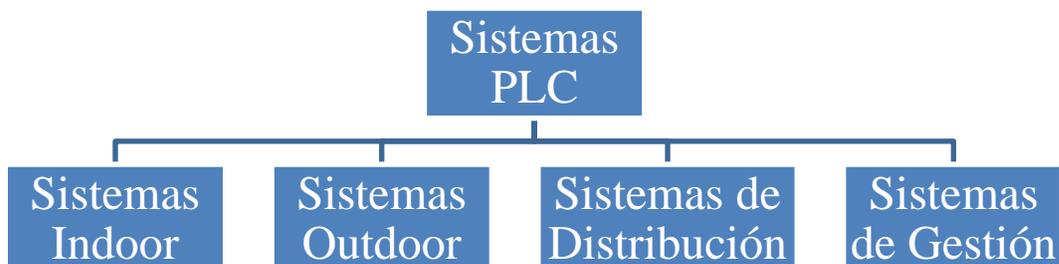


Figura II.11: Estructura PLC

Fuente: Propia

II.4.3.1 Sistema Indoor

También se le conoce como Sistema In-Home o Sistema Domestico. Se aplica al segmento de usuario de la estructura PLC, y abarca el tramo de red comprendido entre las tomas de corrientes al interior de los hogares (negocios, oficinas, etc.), hasta el contador de energía eléctrica. Suele cubrir distancias en el orden de 50 m.

II.4.3.2 Sistema Outdoor

Se Aplica al Segmento de Baja Tensión de la estructura PLC, y abarca el tramo de red comprendido entre el contador de energía eléctrica (tramo también llamado “última milla”), hasta el transformador de distribución (MT/BT). Vale acotar que existen algunas fuentes que engloban al Sistema *Outdoor* e *Indoor* dentro de un sistema llamado “Sistema de Acceso”, mientras que otras utilizan este término para referirse solo al Sistema *Outdoor*.

II.4.3.3 Sistema de Distribución

También conocido bajo el término “*Backbone*” (dependiendo de la fuente, esta etapa es llamada “*Outdoor*”), se aplica al Segmento de Media Tensión de la

estructura PLC, y abarcando los tramos de interconexión entre transformadores de distribución (MT/BT), interconectando así cada Sistema *Outdoor*, y en algún nodo se enlaza con la red del proveedor de servicios.

Actualmente es poco viable la aplicación del Sistema de Distribución utilizando PLC, ya que el tendido eléctrico no está acondicionado en cuanto a la radiación ni a la recepción de estas señales, que coinciden con bandas de radio-frecuencias de uso público. Sin embargo, el Sistema de Distribución puede construirse con otras tecnologías, como por ejemplo: Fibra óptica, xDSL o LMDS (enlaces de microondas), etc.

II.4.3.4 Sistema de Gestión

Se emplea a fines de administrar la red, monitorear su operatividad y garantizar un servicio de calidad. Las características del canal no son constantes, por lo que se requieren protocolos de administración de red para adaptar los parámetros de los equipos PLC a dichas características. Estos protocolos pueden ser: SNMP, navegador de red (http) o Telnet. Existen herramientas de administración que manejan estos protocolos, permitiendo recolectar datos mediante los cuales se realizan diagnósticos, configuraciones y actualizaciones de manera remota.

II.4.4 Equipos

En cada sistema PLC encontraremos distintos tipos de equipos. Básicamente se desglosan en los siguientes tipos:



Figura II.12: Componentes De La Red PLC

Fuente: Propia

II.4.4.1 CPE (Customer Premises Equipment)

También se les conoce como Módem o Adaptador de Usuario. Son equipos utilizados en los Sistemas *Indoor* como una interfaz entre los equipos del usuario y la red PLC, convirtiendo las tomas de corriente de cualquier sea la edificación (hogar, local, oficina, etc.) en puntos de acceso.

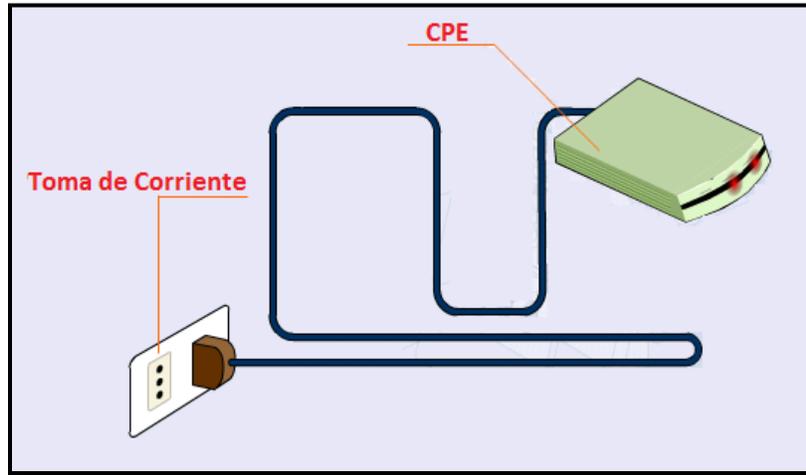


Figura II.13: Tipos de Equipos CPE

Fuente: Propia.

Estos equipos cuentan con protocolos de administración remota como DHCP o SNMP. Se recomienda no conectar más de diez CPE en los hogares. Su funcionamiento viene dado básicamente por tres sistemas internos (véase Figura II.14):



Figura II.14: Componentes Básicos De Un Equipo CPE

Fuente: Propia.

- **Interfaz de Conexión**

Enlaza bidireccionalmente el CPE y el equipo conectado. Puede ser de diferentes tipos, tales como: Ethernet (RJ45), USB, Puerto Paralelo, RJ11, PCI, *Wireless*, entre otros. En la actualidad, lo más común es encontrar equipos CPE con un puerto Ethernet (Rj45). De hecho, el avance en estos equipos ha logrado integrar hasta cuatro puertos Ethernet en un solo CPE.

- **Modem:**

Realiza el procesamiento de la señal. Visto desde el usuario, modula la señal de datos que recibe de la interfaz de conexión, generando una señal que puede ser transmitida por la red eléctrica. Visto desde la red, demodula la señal recibida y la entrega en forma de señal de datos a la interfaz de conexión.

- **Acoplador Eléctrico:**

Permite inyectar la señal PLC a la red. Es de tipo capacitivo (ya que opera mediante el contacto directo con la red). Visto desde la red, contiene un filtro “pasa bajo” que discrimina la señal de corriente eléctrica, y luego un filtro “pasa alto” que vierte la señal de datos al modem. Visto desde el usuario, recibe la señal del modem y la acopla a la señal de corriente eléctrica.

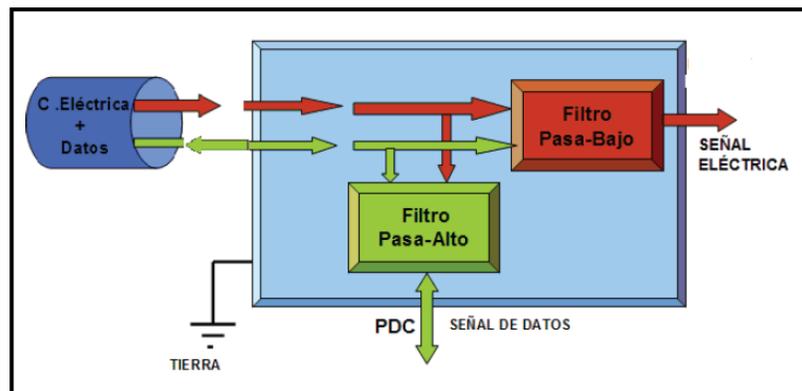


Figura II.15: Filtros Contenidos en los Equipos PLC.

Fuente: (Quizhpi & Ruiz, 2007).

II.4.4.2 IR (Intermediate Repeater)

También llamados HG (Home Gateway), REP (*Repeater*), Puerta de Enlace o Gateway PLC. Pueden ser utilizados en los Sistemas *Indoor* para regenerar y amplificar la señal si ha sido muy atenuada por a la distancia, o, como enrutador para controlar una red LAN doméstica. También puede utilizarse en el sistema *Outdoor*. En este caso, el IR se instala cerca del contador de energía eléctrica, sirviendo como puerta de enlace entre los equipos CPE y HE. Para esto, la señal recibida es amplificada y retransmitida a su destino en una frecuencia distinta. Este cambio de frecuencia dependerá del sentido de la comunicación, ya que en el sistema *Indoor* se requiere adecuar la señal en frecuencias más altas que en el sistema *Outdoor*.

Este equipo también funciona con acopladores eléctricos. Dependiendo del fabricante, varían la cantidad de conexiones simultáneas permitidas, el uso de VLANs u otros servicios. Vale acotar que algunos de estos equipos pueden acoplarse a la red de manera inductiva, es decir, sin contacto directo (se induce la señal mediante campos magnéticos).

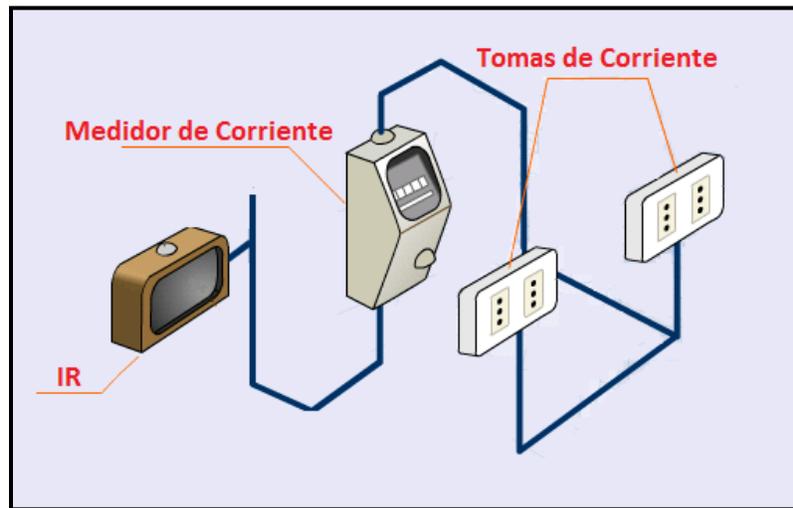


Figura II.16: Un IR suele ubicarse cerca del Medidor de Corriente Eléctrica.

Fuente: Propia.

II.4.4.3 HE (Head End)

También se le conoce como Equipo Cabecera, Equipo TPE (*Transformer Premises Equipment*), Estación Base o Estación Master. Es el componente principal del Sistema de Distribución, controla y coordina la transferencia de datos a todo equipo que se encuentre conectado a él, y al conectar varios HE entre sí, se crean anillos troncales de comunicación PLC. La comunicación troncal puede hacerse de dos maneras; el primer caso es haciendo uso de las tarjetas de interfaces (*Fast-Ethernet, Gigabit-Ethernet, Wireless, etc.*) de los HE para conectarse entre sí. El segundo caso, es mediante el uso de tarjetas MT (media tensión), que permiten utilizar la red de distribución de media tensión como *backbone*. Estos equipos también integran Tarjetas BT (baja tensión), con ellas se conectan a la red de Baja Tensión.

Se puede enlazar un equipo HE con algún proveedor de servicios de internet (ISP), convirtiéndose en la interfaz entre la red PLC y la nube. Suele ser instalado en el punto de distribución eléctrica de baja tensión, el cual se encuentra cerca de la unidad transformadora de MT/BT, acoplándose capacitiva o inductivamente. En el caso de tener un *backbone* de fibra óptica, se tendrá cerca del HE un *Transceiver*, un equipo adaptador que adecua la señal de fibra al cable de hilos de cobre, y viceversa.

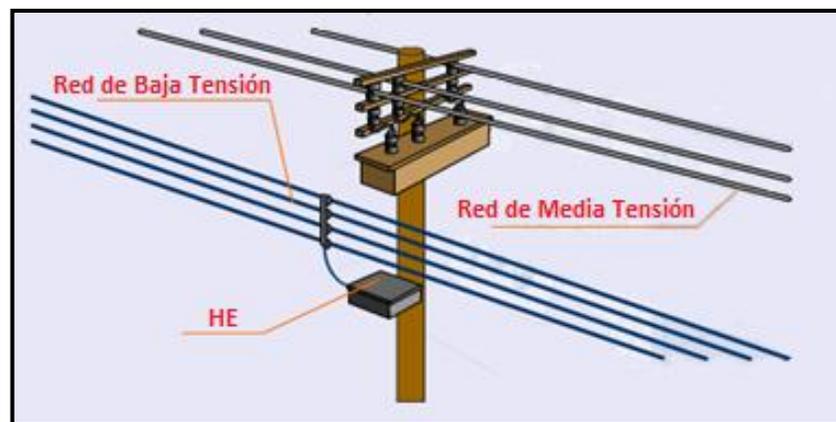


Figura II.17: *Los HE suelen instalarse cerca de los transformadores de MT/BT.*

Fuente: Propia.

II.4.5 Topología Física

Conociendo los elementos que integran la estructura de una red PLC, podemos ilustrar su topología de una mejor manera. En la Figura II.18, se representa un Sistema *Indoor* implementado en un hogar. En este caso, el usuario cuenta con el servicio de Internet, y aplica varios equipos CPE para crear una red de área local, extendiendo en alcance de su servicio de internet a toda la edificación.

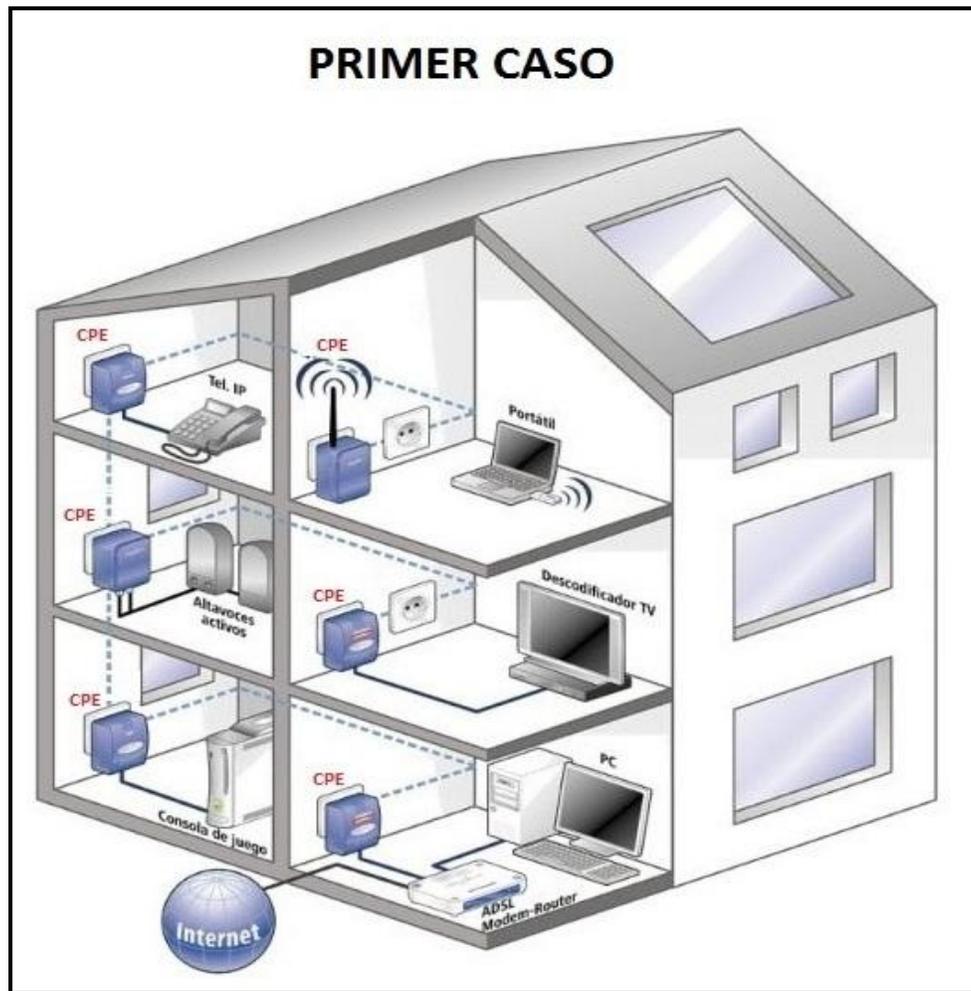


Figura II.18: Topología Genérica De Sistema Indoor.

Fuente: Propia.

La Figura II.19, representa un segundo caso de Sistema *Indoor*. Los equipos CPE se encuentran enlazados con un equipo IR, por el cual acceden al servicio de datos.

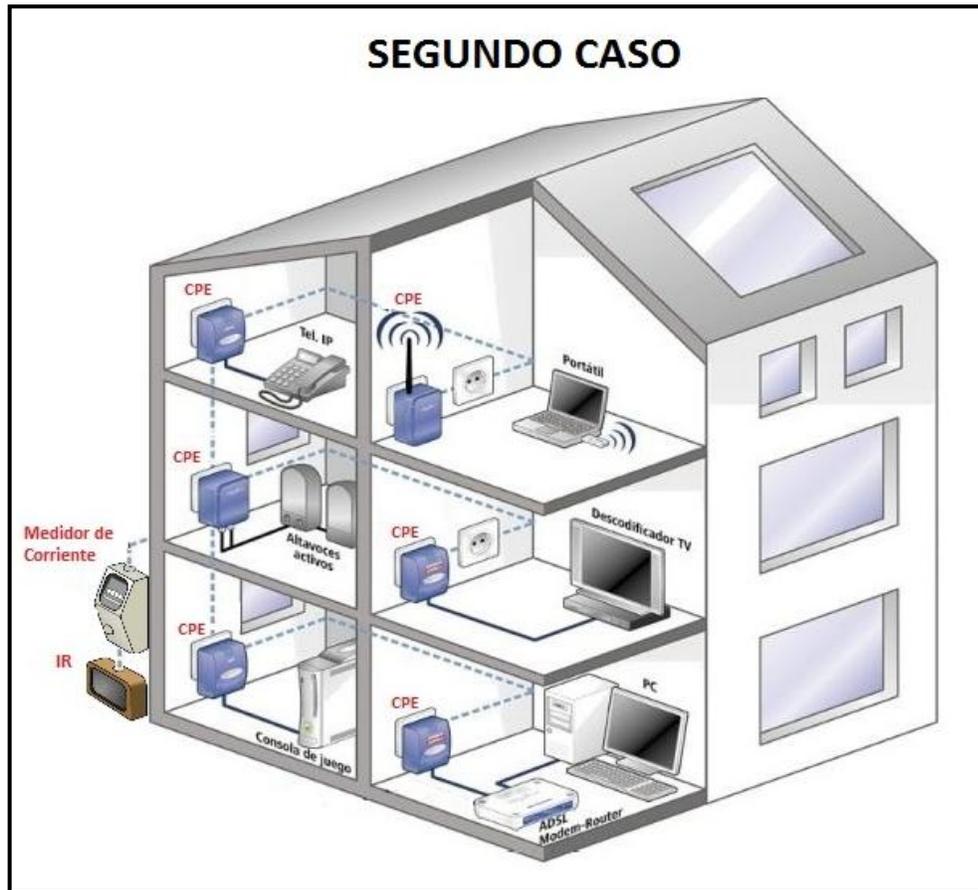


Figura II.19: Otro Caso De Topología Genérica De Sistema Indoor.

Fuente: Propia.

En la Figura II.20, se muestra como se interconectan varios Sistemas *Indoor* a un equipo HE, formando de esta manera un Sistema *Outdoor*. A su vez, los equipos HE se pueden interconectar entre sí, definiendo el Sistema de Distribución. En la Figura II.21, se muestra genéricamente un Sistema de Distribución.

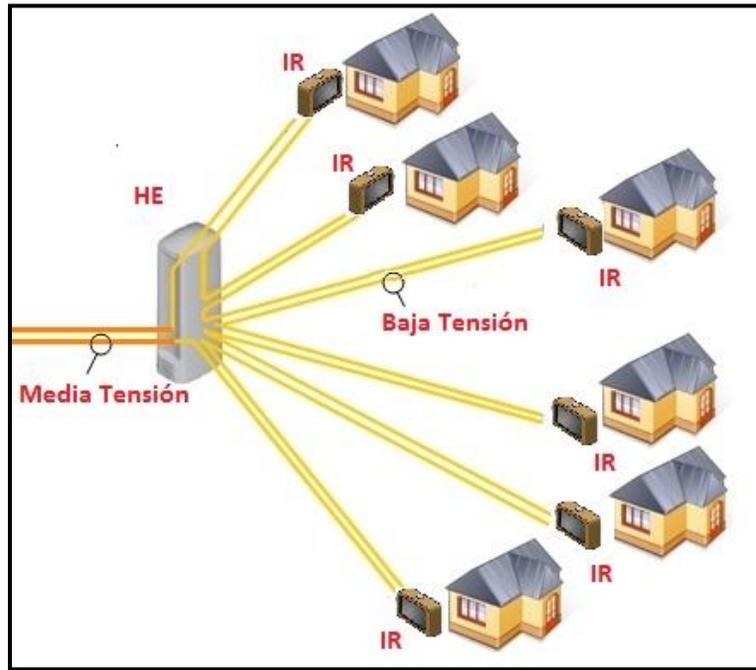


Figura II.20: Topología Outdoor.

Fuente: Propia.

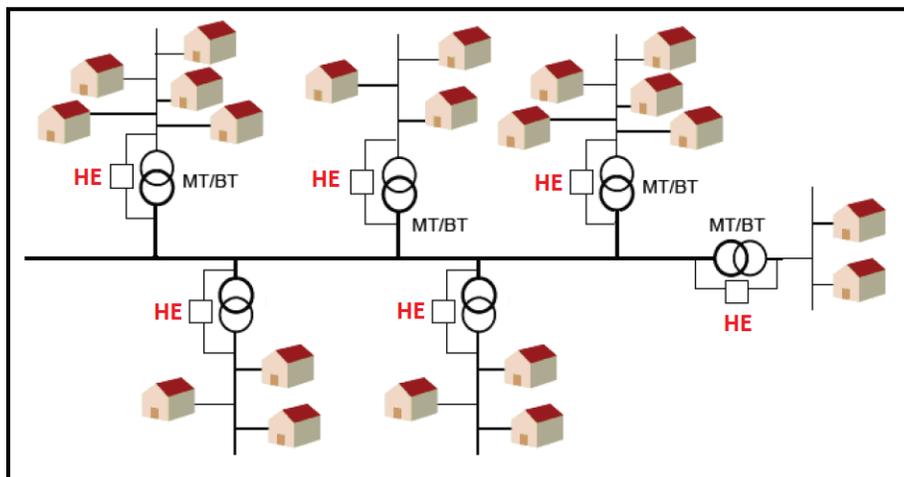


Figura II.21: Topología de un Sistema de Distribución

Fuente: Propia.

De esta manera se forman anillos de comunicaciones, y al conectarse con un proveedor de servicios de internet (ISP) se completa la topología de una red PLC, tal como se muestra en la Figura II.22. Cada equipo HE se encuentra en lo que se denomina “Centro de Transformación (CE)” en el cual se realiza el cambio de Tensión de MT/BT.

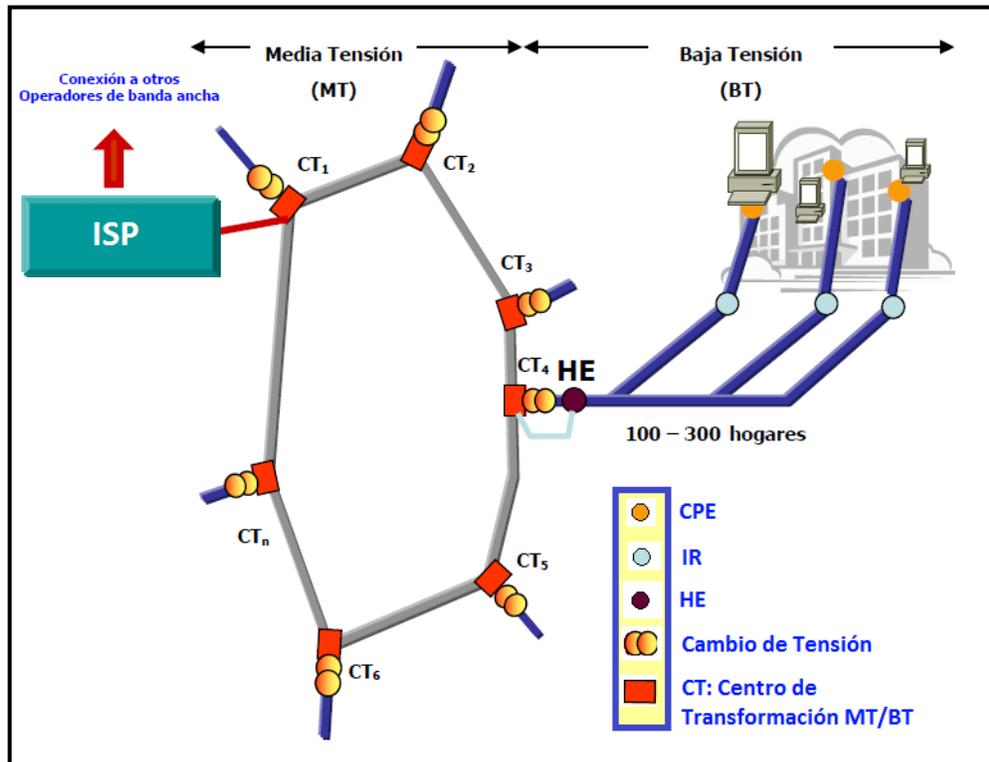


Figura II.22: Topología Red PLC

Fuente: Propia.

Vale acotar, que al diseñar una red PLC se debe tomar en cuenta los factores que vienen determinados por la topología de la red eléctrica, ya que influye directamente en ella. Un factor relevante viene dado por la localización de la red, ya que el tipo de usuario y los requerimientos existentes en un sector comercial, no son iguales a los presentes en un sector residencial o industrial. También se depende de la densidad de usuarios (ya que varía de una red a otra) y de la longitud que exista entre

los usuarios y los transformadores, lo cual suele depender del tipo de zona (urbana o rural). En la Figura II.23, se ejemplifica como en una red de distribución eléctrica se suelen presentar diferentes derivaciones.

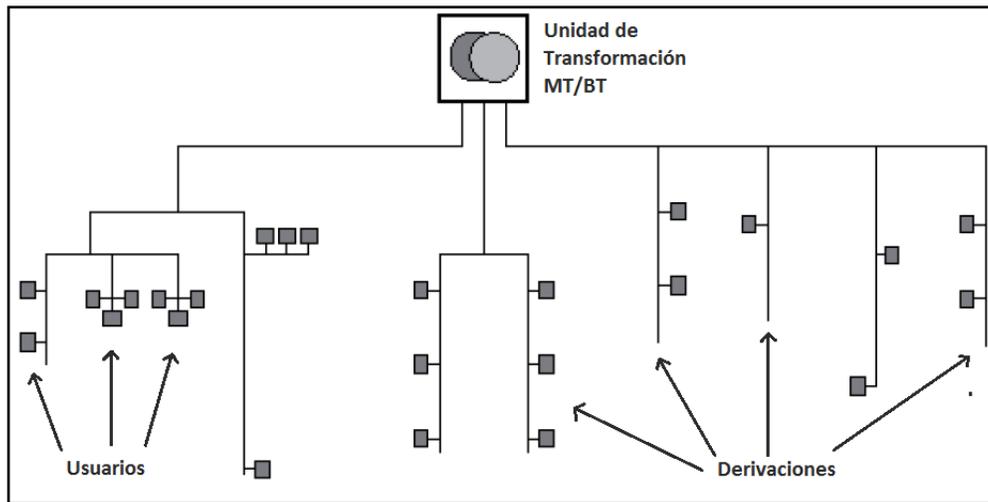


Figura II.23: Ejemplo De Topología De Una Red De Distribución De Bajo Voltaje.

Fuente: Propia.

II.4.6 Funcionamiento

El auge de la tecnología PLC, está directamente relacionada a las innovaciones en el área de transmisión de datos. El uso de nuevas técnicas de modulación ha permitido enviar señales de datos a través de un medio hostil, como lo es el canal de energía eléctrica. por esta razón, procederemos a estudiar las técnicas de modulación.

II.4.6.1 Técnicas de Modulación

En un sistema de comunicaciones, la naturaleza y las características del medio de transmisión determinan la técnica de modulación a elegir. Al ser el canal PLC un medio hostil con características no lineales, es necesario utilizar una técnica de modulación robusta, sofisticada y que haga posible la transmisión de datos a una tasa

de bits ajustada a los requerimientos actuales. Por esta razón, las modulaciones convencionales en amplitud, frecuencia o fase (ASK, FSK y PSK) son técnicas descartadas debido a sus cortas capacidades de respuesta ante este medio de transmisión. Sin embargo, existen cuatro tipos de modulación que se adecuan a estos requerimientos, y por tanto, se utilizan en PLC.

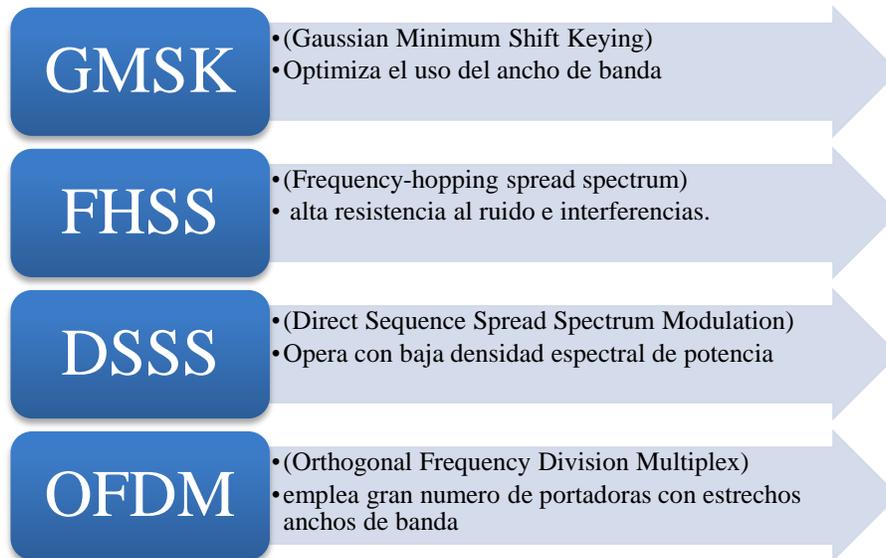


Figura II.24: Tipos De Modulación empleadas en PLC

Fuente: Propia

II.4.6.1.1 Modulación por Desplazamiento Mínimo Gaussiano (GMSK)

Es una derivación de MSK (*Minimum Shift Keying*), un caso particular de la modulación FSK (*Frequency Shift Keying*). Básicamente, utiliza un filtro Gaussiano para transformar los bits de entrada codificados en NRZ (codificación digital polar sin retorno a cero) en pulsos Gaussianos (señales de forma acampanada) y seguidamente suavizarlos con un modulador de frecuencia MSK. “En la mayoría de los casos, la duración del pulso Gaussiano supera la de un bit, dando lugar a lo que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro Gaussiano y la duración de

un bit. Este producto se conoce como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos Gaussianos. La portadora resultante es una señal continua en fase.” (Agudelo, Bernal, & Quintero, 2010). Sin embargo, los cambios entre bits de la señal no están bien definidos lo cual dificulta el proceso de demodulación. Vale acotar que su implementación se limita a zonas de la red de baja potencia.

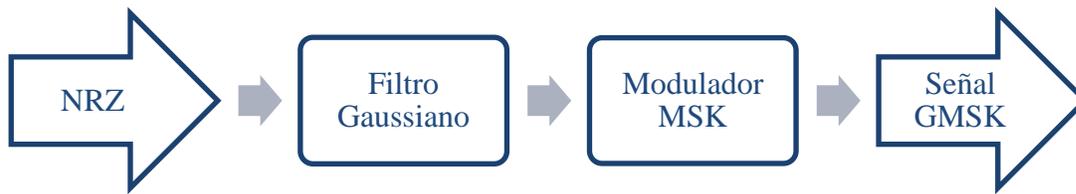


Figura II.25: Procesos del modulador GMSK.

Fuente: Propia.

En la Figura II.26 se muestra el suavizado de fase del filtro gaussiano para una secuencia de bits de “0100” pasada por un modulador GMSK. Por otro lado, la Figura II.27 ilustra la salida de una señal modulada en GMSK.

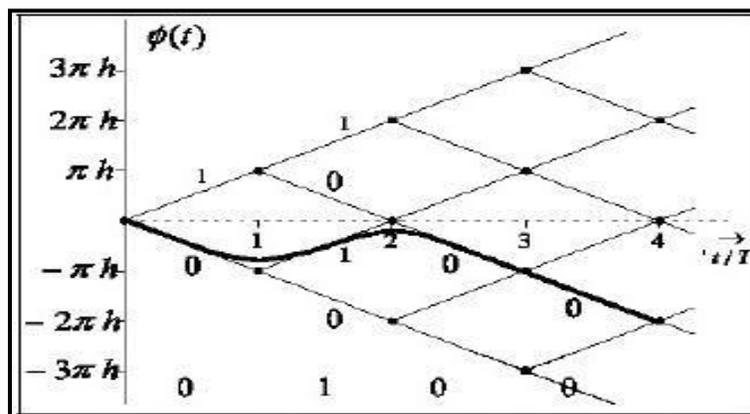


Figura II.26: Diagrama de fase para GMSK

Fuente: (Agudelo, Bernal, & Quintero, 2010).

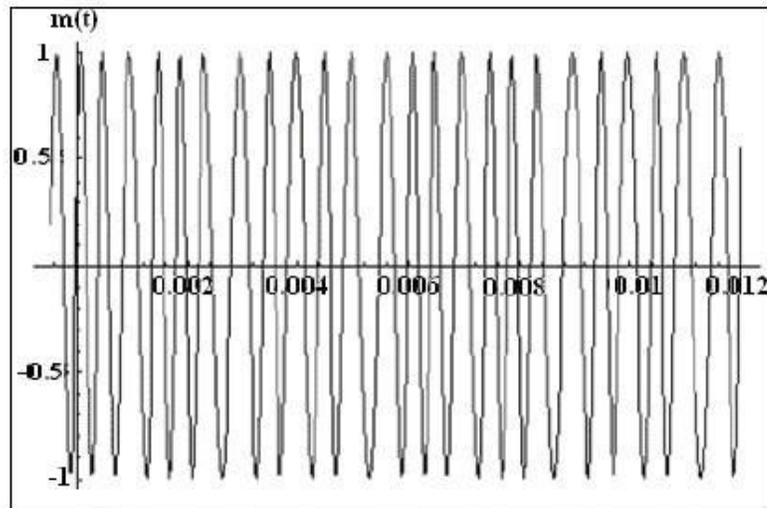


Figura II.27: Señal Modulada GMSK.

II.4.6.1.2 Modulación de Espectro Expandido

También llamada “Modulación de Espectro Ensanchado”, es un método que emplea un código pseudo-aleatorio o *pseudo-Noise* (PN) como onda modulante para distribuir la señal a transmitir a través de todo el espectro de frecuencia disponible, empleando muy baja potencia y alta protección a interferencias. Esta técnica proviene del área militar, siendo pensada para aplicarse en ambientes hostiles; tal es el caso de PLC. Resulta altamente resistente a interferencias de diferente índole, como por ejemplo: redundancia, desvanecimiento, multi-trayecto o proveniente de otros sistemas. Las variantes más comunes de este método son: *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) y *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS).

Espectro Expandido Por Salto De Frecuencias (FHSS)

Fue la primera técnica de modulación de espectro expandido. Básicamente organiza los bits codificados (señal a transmitir) sobre una serie de frecuencias, saltando entre frecuencias de forma síncrona en intervalos fijos de tiempo. El receptor

se sincroniza con el transmisor para saltar entre frecuencias correctamente mediante un generador de números pseudo-aleatorios (código de expansión o *Pseudo-Noise*, PN) también utilizado en el transmisor, generando ventajas a nivel de seguridad, ya que no es posible detectar toda la señal sin acoplarse sincrónicamente al transmisor. La Figura II.28 ejemplifica un diagrama de salto de frecuencias generado por la modulación FHSS, ilustrando en la figura de la izquierda el ancho de banda total que ocupa la señal a transmitir. El orden de las secuencias de envío por frecuencia es pseudo-aleatorio. Por su parte, el grafico de la derecha contiene la señal resultante del método.

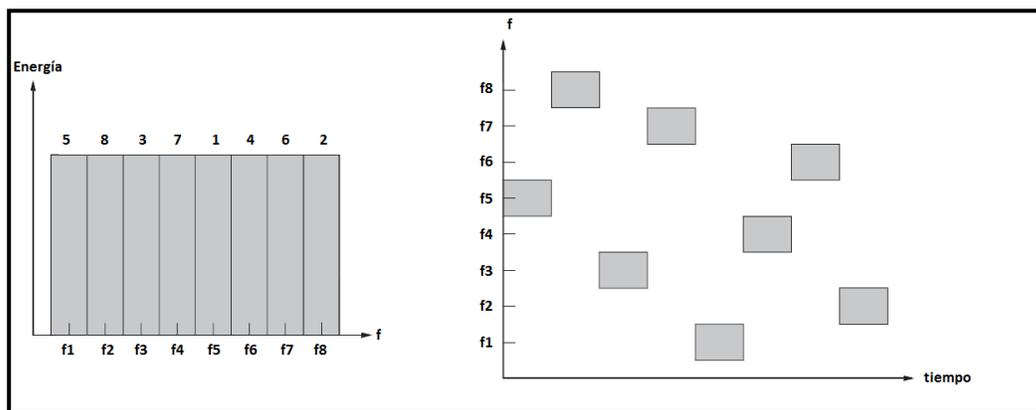


Figura II.28: Ejemplo de salto de frecuencias con FHSS

Fuente: (Rivera, 2008).

En la Figura II.29 se muestra un sistema FHSS en el cual los bits codificados de entrada pasan por un modulador de codificación digital-analógica como FSK (desplazamiento en frecuencias) o BPSK (desplazamiento en fase binario). A la salida se procede a centrar la señal obtenida a una frecuencia base mediante un generador PN, en donde cada k bits define alguna de las 2^k frecuencias portadoras en las que variara la señal consecutivamente. Como resultado tendremos una señal de espectro expandido. En el receptor se realiza el procedimiento contrario para obtener la obtención de los datos.

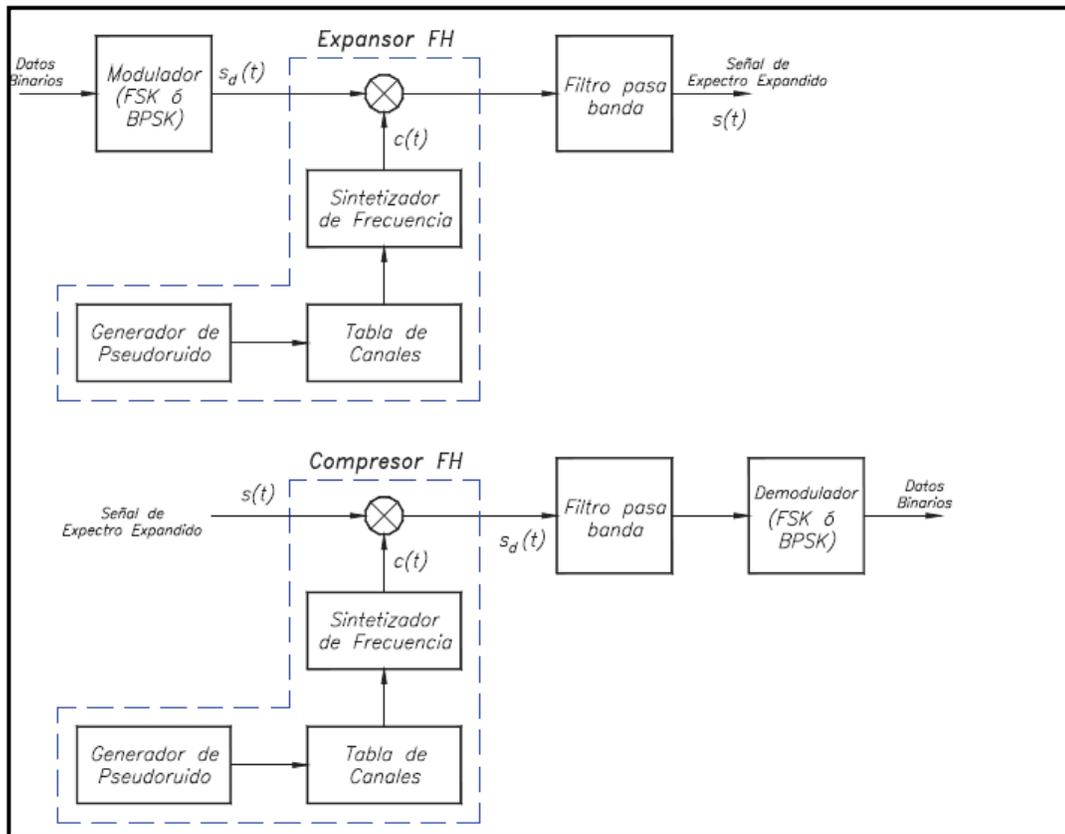


Figura II.29: Sistema FHSS.

Fuente: (Rivera, 2008).

Las principales ventajas de esta técnica radican en la gran resistencia que presentan al ruido e interferencias, además de incrementar la seguridad de la señal. Los receptores no sincronizados al transmisor detectarían un aumento de poca duración en el ruido.

Espectro Expandido de Secuencia Directa (DSSS)

Al ser una modulación de espectro expandido funciona mediante el mismo principio de expansión de la señal a transmitir modulando su portadora en la señal que genere el código de expansión. La diferencia entre DSSS Y FHSS radica en el tipo de código de expansión. Si bien en FHSS, el código expande la señal mediante

Si tomamos el primer bit como el de la señal original y el segundo como el proveniente del código de expansión tendríamos que, siendo un 1 el bit de la señal original se invierte los bits del código de expansión, mientras que un 0 no produce cambios. La velocidad de transmisión la determina la señal con el código de expansión al contener a la señal de información original. Figura II.31 se muestra un ejemplo.

II.4.6.1.3 Modulación Ortogonal por División de Frecuencia (OFDM)

Si bien es cierto que las primeras modulaciones aplicadas en PLC fueron las de espectro expandido por las características antes mencionadas, surge otra técnica de modulación conocida como *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), que mantiene un alto rendimiento en ambientes hostiles, mejora los requerimientos de velocidad y ancho de banda, y es ampliamente aplicada en diferentes sistemas de telecomunicaciones incluyendo PLC, donde se ha convertido en la técnica de modulación más utilizada.

Para adentrarnos en el funcionamiento de este método conviene conocer el concepto de ortogonalidad, el cual sostiene que aunque varias señales portadoras se encuentren muy cerca en frecuencia, traslapando parcialmente sus espectros, no se interfieren entre sí, ya que la detección de cada portadora se lleva a cabo en el punto preciso en el cual todas las demás son nulas.

OFDM resulta de una variación especial de modulación multi-portadora, que distribuye la señal a transmitir sobre múltiples sub-portadoras ortogonales (véase Figura II.32) que son a su vez, transmitidas en múltiples canales que se encuentran separados entre sí en diferentes frecuencias establecidas (véase Figura II.33). Vale acotar que en la Figura II.32 se compara el aprovechamiento de ancho de banda entre el método de modulación Multi-portadora y OFDM.

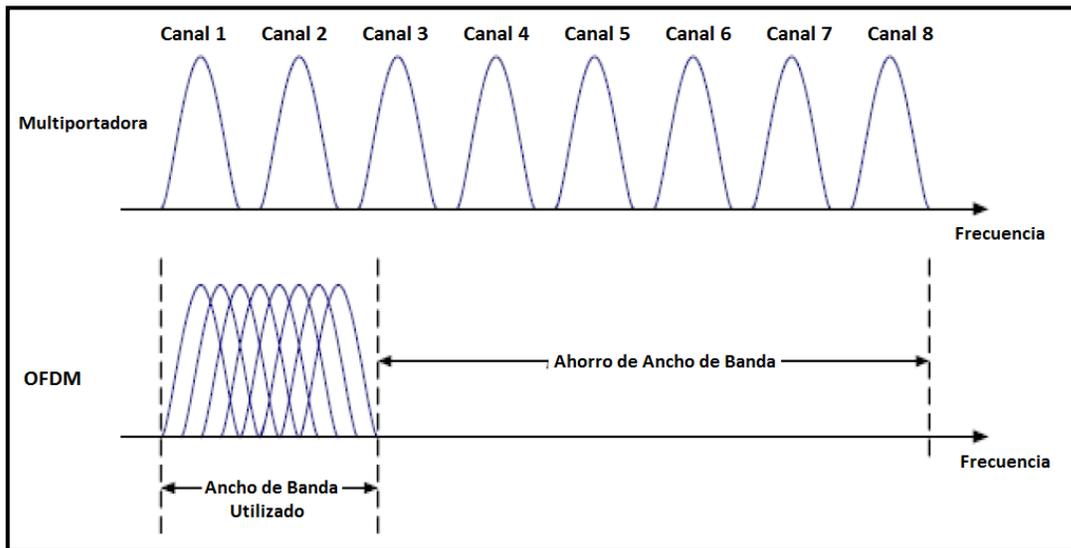


Figura II.32: Transmisión Mediante El Uso De la Modulación Multi-portadora Y OFDM.

Fuente: Propia.

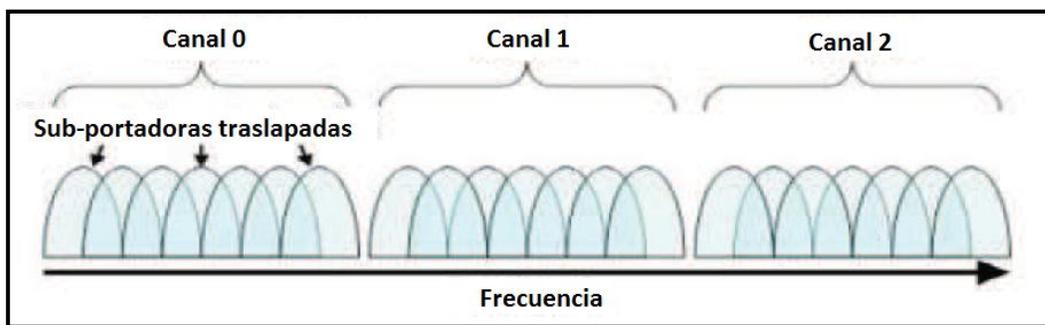


Figura II.33: Uso Del Espectro De Frecuencias En OFDM.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

Al dividir el espectro de frecuencias disponible en múltiples canales, se logra disminuir de gran manera la vulnerabilidad al desvanecimiento causada por la propagación de la señal en el medio, uno de los principales problemas de las comunicaciones que dependen de un gran espectro de frecuencias. La posibilidad de

ajuste de estos canales posibilitan una adaptación dinámica dependiendo de las características que vaya presentando el medio a lo largo de la transmisión, de forma tal que se puede incrementar la potencia en las frecuencias en donde el ruido es menor y anular aquellas en donde se tenga mucho ruido. Todos estos factores logran incrementar la transmisión de bits mientras se acortan los tiempos necesarios para su envío, es así como OFDM aumenta la velocidad de transmisión de datos. En la Figura II.34 se muestra un sistema Transmisor-Receptor OFDM.

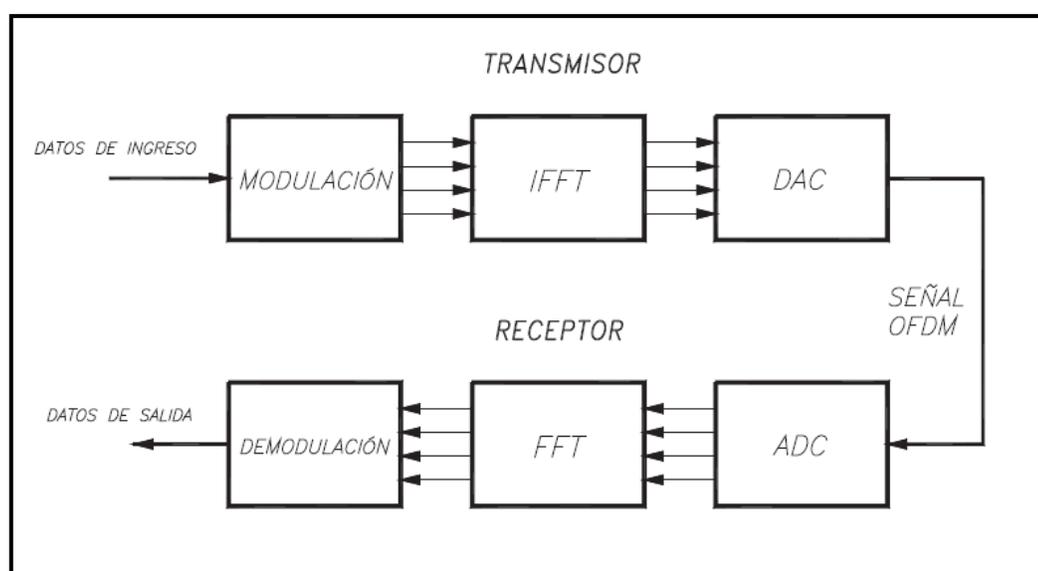


Figura II.34: Sistema Básico OFDM

Fuente: (Rivera, 2008).

El sistema transmisor OFDM comienza con el ingreso de una señal binaria codificada al modulador QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), el cual realiza una Modulación En Cuadratura De Fase. Esto se logra modulando individualmente cada una de las sub-portadoras de la señal de entrada para generar símbolos OFDM y dependiendo del tipo de modulador QAM, se obtendrá una constelación diferente.

En PLC se utilizan 4 diferentes técnicas de modulación: QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*), 4QAM, 16QAM Y 64QAM (Figura II.35). Cada sub-portadora podrá transportar un número de bits que dependerá del tipo de modulación QAM. A su vez, estos bits pueden expresarse como números complejos (componente real e imaginaria) el cual variara dependiendo de su lugar en la constelación.

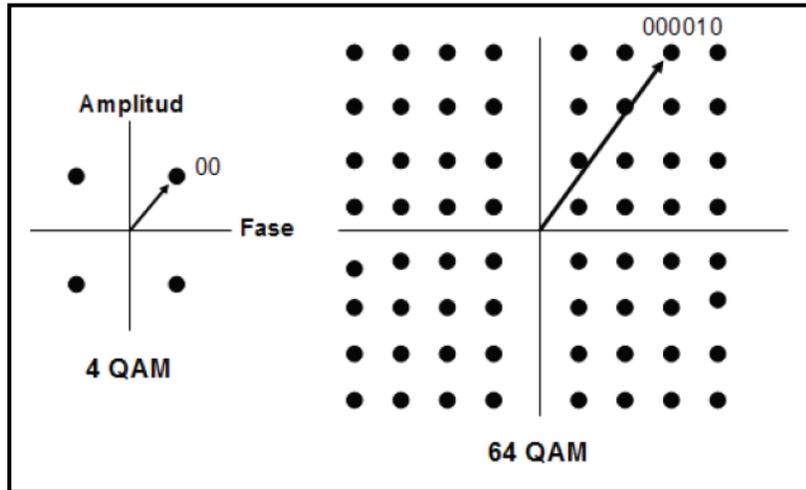


Figura II.35: Constelación del modulador 4QAM; 64QAM.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

Técnica	Numero de Símbolos	Bits/Símbolo
QPSK y 4QAM	4	2
16QAM	16	4
64QAM	64	6

Tabla 1: Técnicas usadas en QAM.

Fuente: Propia.

A la salida del modulador QAM tendremos una señal que representa un flujo de coeficientes complejos en paralelo correspondientes a la representación de símbolos en el dominio de frecuencia (véase Figura II.36), pero se precisa trabajar la señal en el

dominio del tiempo. Por esta razón, a esta señal se le aplica la transformada inversa de Fourier (*Inverse Fourier Fast Transform, IFFT*). Seguidamente se generan intervalos de guarda entre cada trama de portadoras OFDM con el fin de aumentar la robustez de cada portadora y evitar pérdidas de información ocasionadas por la interferencia intersimbolica (ISI) y la Interferencia entre Sub-portadoras (ICI). El uso de intervalos de guarda le permite al receptor recibir símbolos retrasados sin que estos se interfieran entre sí (Véase Figura II.37). Finalmente, la señal entra en un conversor Digital-Analógico (*Digital-Analogic Converter, DAC*) para adecuar la señal antes de su transmisión.

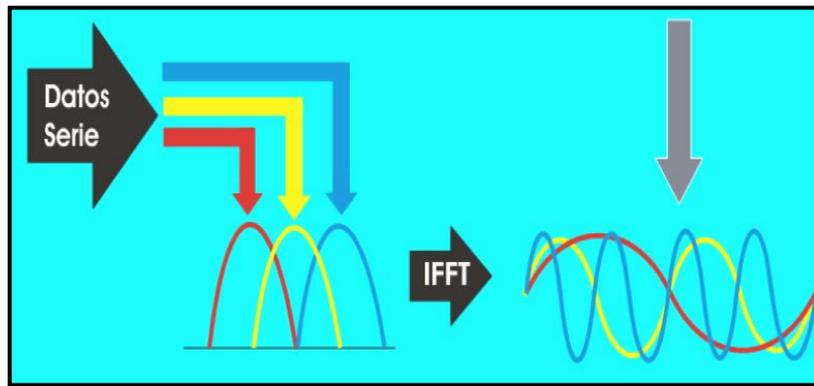


Figura II.36: Generación de un Símbolo OFDM

Fuente: (Rivero, 2008).

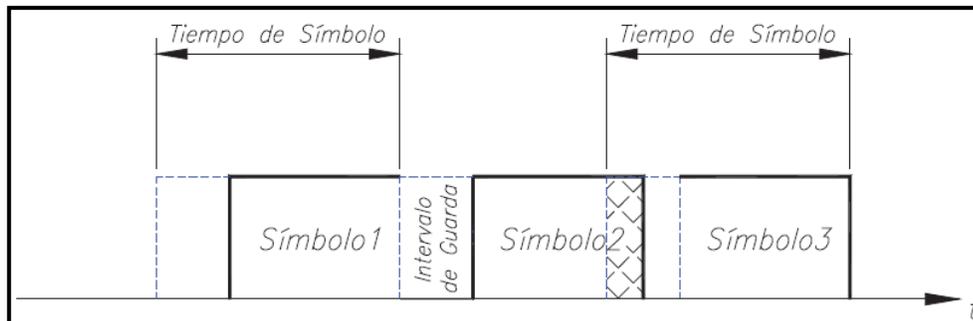


Figura II.37: Intervalos de Guarda entre Símbolos.

Fuente: (Rivero, 2008).

La recepción de la señal conlleva el proceso opuesto al transmisor, digitalizando la señal mediante el ADC (Convertor Analógico-Digital), retirando el intervalo de guarda (ya que el receptor conoce su valor) y representándola en el dominio de la frecuencia por medio de una FFT (*Fast Fourier Transform*). Seguidamente se demodula el contenido de cada portadora en secuencias de bits dependiendo del tipo de modulación QAM que se tenga.

OFDM resulta ser una técnica de modulación con grandes beneficios al ser de alta eficiencia en lo que al uso del espectro de frecuencias se refiere, de gran escalabilidad de velocidades de transmisión, resistente a las interferencias, y capaz de aminorar el daño causado por dispersión, desvanecimientos y multi-trayectoria. Otras de sus ventajas la determinan su flexibilidad y adaptabilidad a distintos tipos de modulación de sub-portadoras y a las condiciones que presente el medio de transmisión.

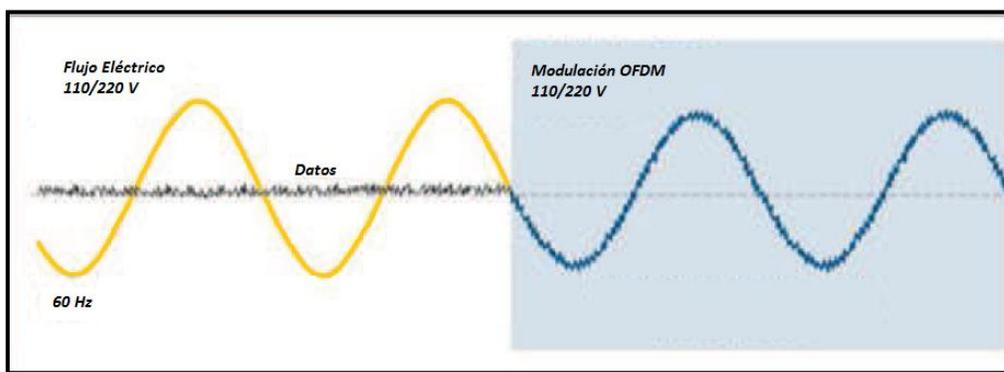


Figura II.38: Modulación OFDM

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

II.4.6.2 Arquitectura Lógica

Hablamos de Arquitectura Lógica para referirnos a la manera en la que se estructura la comunicación. La tecnología PLC utiliza como referencia un modelo

propuesto a finales de la década de los setenta por la Organización Internacional para la Normalización (ISO), llamado OSI (*Open Systems Interconnection Reference Model*), el cual se tornó un estándar internacional en 1984. Está conformado por 7 capas las cuales llevan a cabo diferentes funciones. En la Figura II.39 se muestra como están organizadas dichas capas.

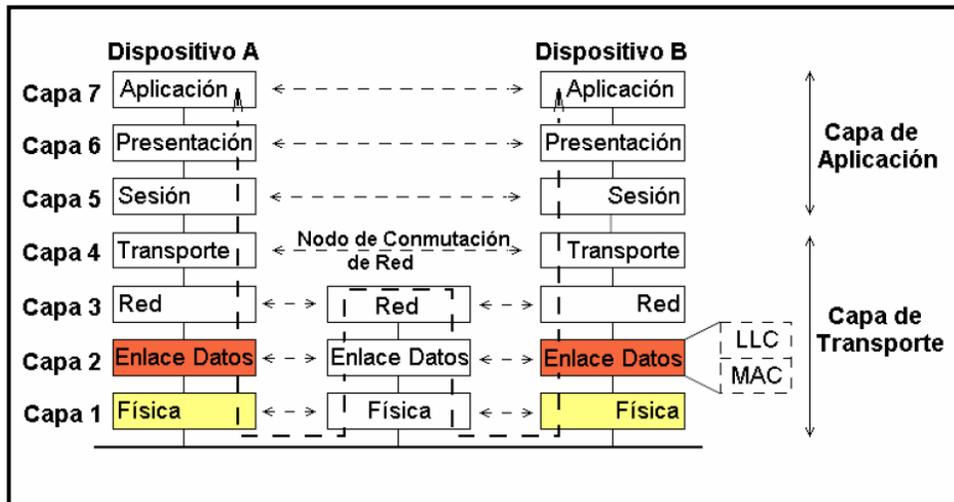


Figura II.39: Modelo OSI.

Fuente: (Quizhpi & Ruiz, 2007).

Capa 7 – Capa de Aplicación

Referente a la interfaz del usuario y el acceso general a la red.

Capa 6 – Capa de Presentación

Se lleva a cabo la traducción de los paquetes recibidos de la capa de aplicación a un formato estándar que pueda entender las capas inferiores y viceversa, siendo capaz de hacer cifrados y compresiones de datos.

Capa 5 – Capa de Sesión

Referente a la gestión de la comunicación entre el equipo emisor y el receptor.

Capa 4 – Capa de Transporte

Se gestiona el flujo de datos entre los terminales involucrados en la comunicación, procurando la transmisión en la secuencia establecida y sin errores. También evalúa que los paquetes tengan el formato adecuado para las capas inferiores.

Capa 3 – Capa de Red

Se determina el enrutado de los paquetes, encargándose de que el intercambio de paquetes se lleve a cabo. Las direcciones lógicas pasan a ser direcciones físicas y viceversa.

Capa 2 – Capa Enlace de Datos

Dependiendo de la arquitectura de red que se use, se organizan los paquetes en tramas para que pueda ser manejada por la capa 1. También identifica a los equipos que integran la red mediante su dirección de hardware y es responsable de que tramas se reciban sin errores. Según la especificación IEEE 802, esta capa se subdivide en 2 capas:

Subcapa Alta - LLC (Logical Link Control): encargado de establecer y mantener el enlace entre los terminales. Ofrece puntos de referencia llamados SAP (*Service Access Point*) para facilitar la comunicación con las capas superiores.

Subcapa Baja – MAC (Media Access Control): determina el acceso de los datos al equipo. Especificando la forma en el que se hará la comunicación en la red.

Capa 1 – Capa Física

Referente a los aspectos a nivel de hardware que integran una red (equipos, cables, conexiones, etc). Acondicionando las tramas de datos en flujos de bits para su

inyección al medio de transmisión. En el caso de PLC hablamos del tendido eléctrico (cables y tomas de corriente), CPE's, IR's y HE's.

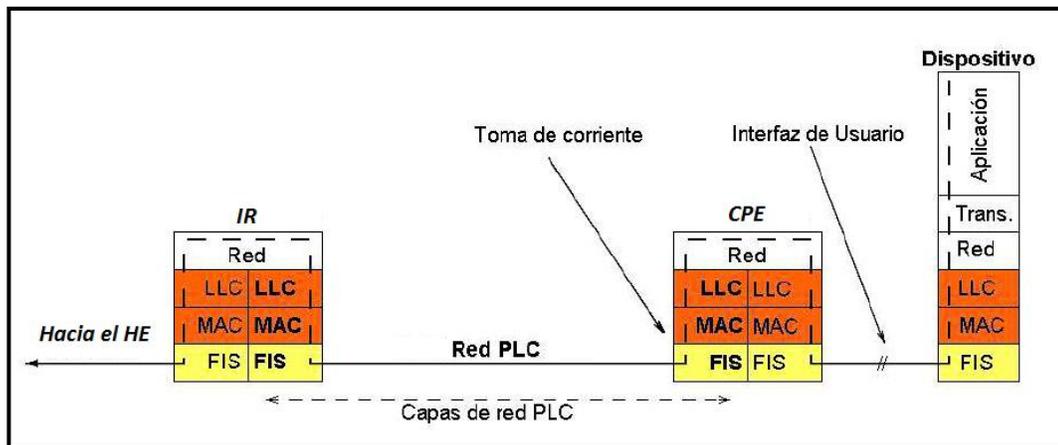


Figura II.40: Modelo OSI en un Sistema PLC.

Fuente: (Quizhpi & Ruiz, 2007).

De esta manera, en una red PLC, los elementos que componen la capa física son los encargados de transmitir o recibir los datos provenientes del medio y adecuarlos a la capa superior, en donde la información es recibida en tramas. La subcapa MAC determina la manera en que se enviarán estas tramas por el medio, las cuales se componen de 3 partes:

Delimitador Inicial: indica la duración de la carga útil y contiene bits destinados al control de la trama.

Núcleo: contiene una cabecera para indicar el origen, la dirección de destino y la información de segmento. Además Contiene los datos principales.

Delimitador Final: contiene un preámbulo para la indicación de final de trama.

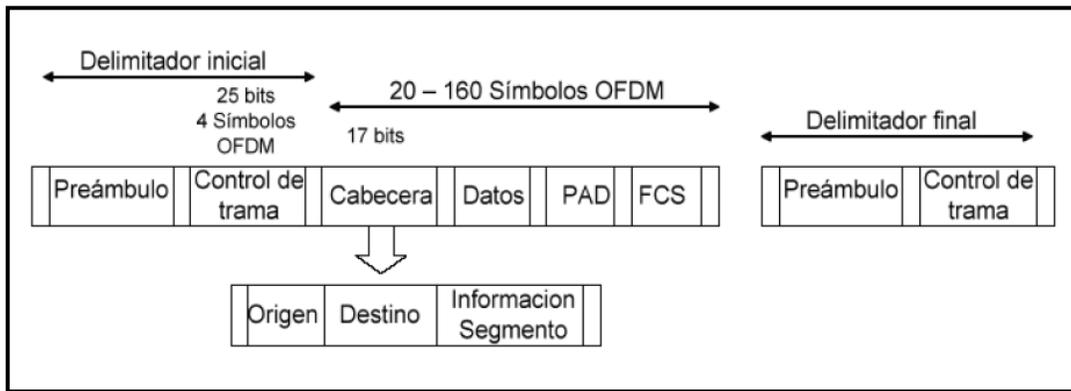


Figura II.41: Segmentación De Una Trama PLC Bajo OFDM.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

Además de la segmentación de las tramas es importante conocer los procesos para el control de errores llevado a cabo en la fase LLC, ya que determinan el tipo de acción que se lleva a cabo cuando los paquetes sufren alguna pérdida o daño en la transmisión. Este es el caso del mecanismo de control ARQ (*Automatic Repeat Request*), en donde se tienen 3 mecanismos: el primero “Enviar y Esperar”, requiere recibir un mensaje de reconocimiento para habilitar la transmisión. El segundo se denomina “Go Back N”, en donde se analizan los errores de N paquetes que se encuentran a la espera de su reconocimiento, hasta que no se responda positivamente se rechaza la trama. Finalmente tenemos el “Rechazo Selectivo”, en donde solamente se reenvía la unidad de dato que presente problema y se evita la retransmisión de paquetes sin errores.

Vale acotar que las transmisiones en PLC se consideran del tipo bus lógico, lo cual implica la conexión de estaciones de red con una estación maestra que sirve de troncal de distribución. Cada nodo supervisa la actividad en la línea, es decir, los datos transmitidos por la trocal serán detectados por todos los nodos de la red, pero solo serán aceptados por el nodo hacia el que va dirigido. Si uno de los nodos se daña, deja de comunicarse sin afectar lo demás.

II.4.6.3 Distribución de Frecuencias

A fines de estandarizar el uso del espectro de frecuencias en el cual se envía la señal de datos, surge la recomendación ETSI TS 101 867 (V1.1.1 2000-11), la cual se refiere a sistemas PLC de primera generación y desglosa este rango de frecuencias en 2 sub-rangos: uno que abarca la banda de frecuencia comprendida entre 1.6 MHz y 10MHz, definido para los sistemas PLC de acceso (*Outdoor*), y otro sub-rango definido para los sistemas PLC In Home (*Indoor*), ocupando la banda de frecuencia comprendida entre 10MHz y 30MHz.

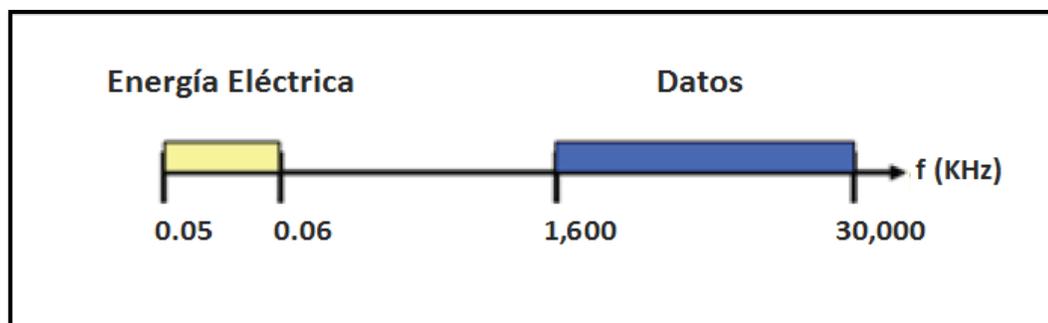


Figura II.42: Rangos de frecuencia de la señal de energía y datos.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

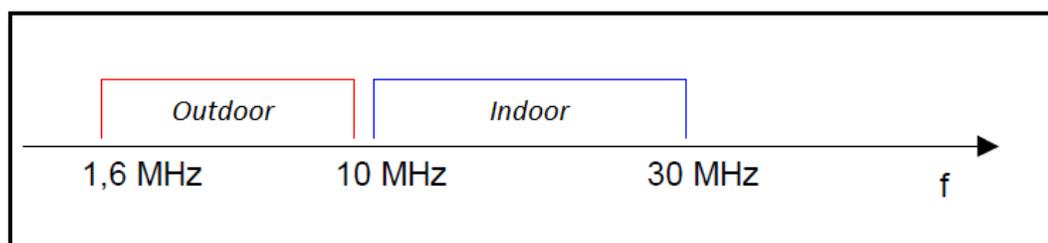


Figura II.43 Distribución del espectro de frecuencia de datos según ETSI TS 101 867

Fuente: Propia.

“Sin embargo, la distribución de rangos de frecuencias puede depender del fabricante de hardware, quien además de definir sub-rangos de frecuencia propios,

puede agregarles a los equipos funciones para restringir frecuencias específicas” (Archila & Morales, 2011).

II.4.6.4 Velocidades de Transmisión

Las Velocidades de Transmisión dependen de varios factores tales como: las condiciones de las líneas eléctricas, la tecnología que implemente el fabricante del hardware PLC, el tipo de sistema y el tipo de modulación que empleada. En sistemas *Indoor* de primera generación (implementaban GMSK o DSSS como técnica de modulación), se alcanzaban velocidades entre 1 y 4 Mbps, suficiente para el servicio de internet, telefonía IP o transmitir voz.

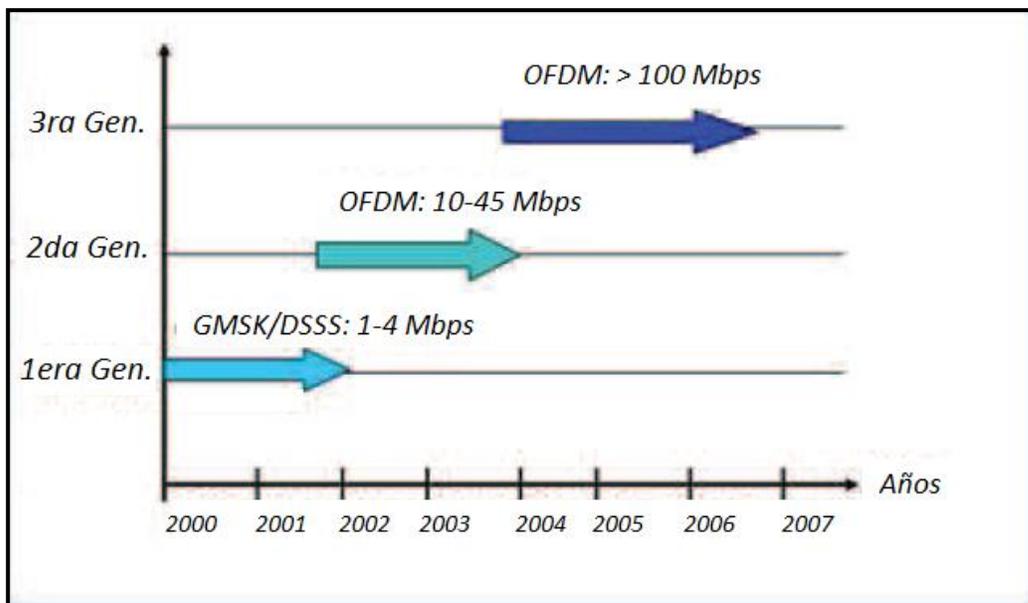


Figura II.44: Cuadro Evolutivo de las Velocidades de Transmisión PLC.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

Al variar el tipo de modulación en los equipos a OFDM, se introduce una segunda generación que alcanza los 45 Mbps (repartidos en 27 Mbps en *Downstream* y 18 Mbps en *Upstream*) y 135 Mbps en sistemas *Outdoor* y de Distribución. Estos

anchos de banda de subida y bajada en los sistemas *Indoor* son compartidos, ya que todos los usuarios disponen de la misma red, por lo que se puede contar con un máximo de 256 usuarios. Hoy en día se han comenzado a implementar nuevas técnicas de modulación en las que se superan los 100 Mbps, logrando hasta 500 Mbps, apuntando al despliegue de una tercera generación de modulaciones en PLC.

II.4.6.1 Capacidad del Canal

Basándonos en la ley de Shannon (ley de capacidad de un canal con ruido), se puede calcular la cantidad de transmisión máxima posible en bits por segundo, si se conoce el ancho de banda del canal (B) y la relación señal a ruido del mismo (S/N).

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Figura II.45: Ley de Shannon.

Fuente: (Guilbout & García)

Sin embargo, en un canal PLC, la relación señal a ruido no es un parámetro constante, por lo cual debe tomarse de una manera alternativa, como por ejemplo: conociendo el espectro de densidad de potencia de la señal que se quiere transmitir, lo cual puede hallarse mediante la función de transferencia ($H(f)$) y la densidad de potencia de ruido ($S_{nn}(f)$), parámetros constantes en un el canal.

$$S_{rr}(f) = S_{nn}(f) \cdot |H(f)|^2$$

Figura II.46: Densidad de potencia en función de la densidad de potencia de ruido.

Fuente: (Guilbout & García).

De esta manera, podemos valernos de la densidad de potencia de la señal a transmitir ($S_{rr}(f)$) y la densidad de potencia de ruido, quienes son parámetros dependientes de la frecuencia y son variables con respecto al comportamiento del canal.

$$C = \int_{f_u}^{f_o} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad \text{con } B = f_o - f_u$$

Figura II.47: Ley de Shannon en función de la densidad de potencia.

Fuente: (Guilbout & García).

(Guilbout & García) Encontró lo siguiente: “Para un canal excelente con capacidades teóricas en el rango de los 250 Mbps, se puede alcanzar tasas de datos reales de 100 Mbps. Aun para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 5 Mbps.” De la misma forma se ilustra en la tabla 342 la diferencia entre la capacidad teórica y la realizable en pruebas piloto para el tramo de última milla, determinando que aun en el peor de los casos, se logra conseguir una capacidad de canal de 5 Mbps. (Guilbout & García) encontró también que “La capacidad del canal decrece con la distancia debido al comportamiento pasa bajo del canal PLC. Por ejemplo, para distancias de 100 m teóricamente excede los 250 Mbps, aun en distancias de 300 m y restringiendo a un rango de 5 Mhz se puede obtener 14Mbps. Pero se debe tener en cuenta que en enlaces de más de 200 m en la mayoría de los casos las frecuencias por arriba de 10 MHz no contribuyen en nada”. Vale acotar que uno de los factores determinantes en el aprovechamiento de la capacidad del canal lo delimita la técnica de modulación empleada.

	Tasa De Datos	
	Mejor Caso	Peor Caso
Teórica	250 Mbps	14 Mbps
Realizable	100 Mbps	5 Mbps

Tabla 2: Comparativa teóricos/realizable de las Capacidades de Canal.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009).

II.4.7 Estado de PLC a Nivel Mundial

Existe una creciente demanda de la tecnología PLC a nivel mundial, lo cual ha dado lugar a numerosas pruebas en diversos países de todos los continentes del mundo. En la mayoría de los casos los avances en la tecnología PLC ha sido llevada como modelo de prueba, aunque existen varios países que han implementado modelos comerciales. De cualquier forma, se mantiene un gran apogeo en lo que al despliegue de la tecnología se refiere, contando con la iniciativa de las compañías eléctricas del respectivo país para llevar a cabo el trabajo. España, Alemania, Inglaterra y los Estado Unidos forman parte del grupo de países que han logrado llevar exitosamente las pruebas de esta tecnología, prosiguiendo a su implementación. (Mantilla & Oña, 2009) Encontró que “países como Australia, Austria, China, Finlandia, Hong Kong, Hungría, Irlanda, Italia, Korea, Japón, Holanda, Polonia y Suiza actualmente se encuentran realizando estudios y pruebas de campo para determinar la viabilidad de este servicio”. Vale acotar que en Sudamérica también se han realizado pruebas e implementaciones mediante PLC.

En las primeras figuras correspondientes a los Anexos se realiza una descripción organizada continentalmente sobre los países que han demostrado un despliegue relevante en torno a esta tecnología, indicando el operador mediante el cual implementan la tecnología, así como la especificación del servicio ofrecido.

Capítulo III: Marco Metodológico

El presente trabajo especial de grado, se llevó a cabo siguiendo una metodología de investigación documental de tipo exploratoria, ya que la misma consistió en seleccionar y recopilar información por medio de la consulta de documentos y materiales bibliográficos, tales como: trabajos especiales de grados realizados con anterioridad, libros, artículos electrónicos, páginas web y entrevistas realizadas a especialistas en las áreas estudiadas. Una vez con la información obtenida y estudiada, se comprueba la utilidad de la Tecnología Power Line Communications como canal de retorno y se propone un sistema para su implementación. En base a ello, se desarrolló una aplicación que permitiera simular una de las etapas que comprende dicho sistema, permitiendo evaluar su viabilidad y realizar conclusiones globales al tema.

La orientación de este capítulo es describir las faces que permitieron el desarrollo de la investigación de forma coherente para así cumplir con los objetivos propuestos. La realización de este proyecto consto de tres fases fundamentales: Levantamiento de Información, Evaluación del Sistema y la Simulación y Mejora del mismo. Estas fases se exponen de manera esquematizada en la siguiente figura. (Véase Figura III.1).

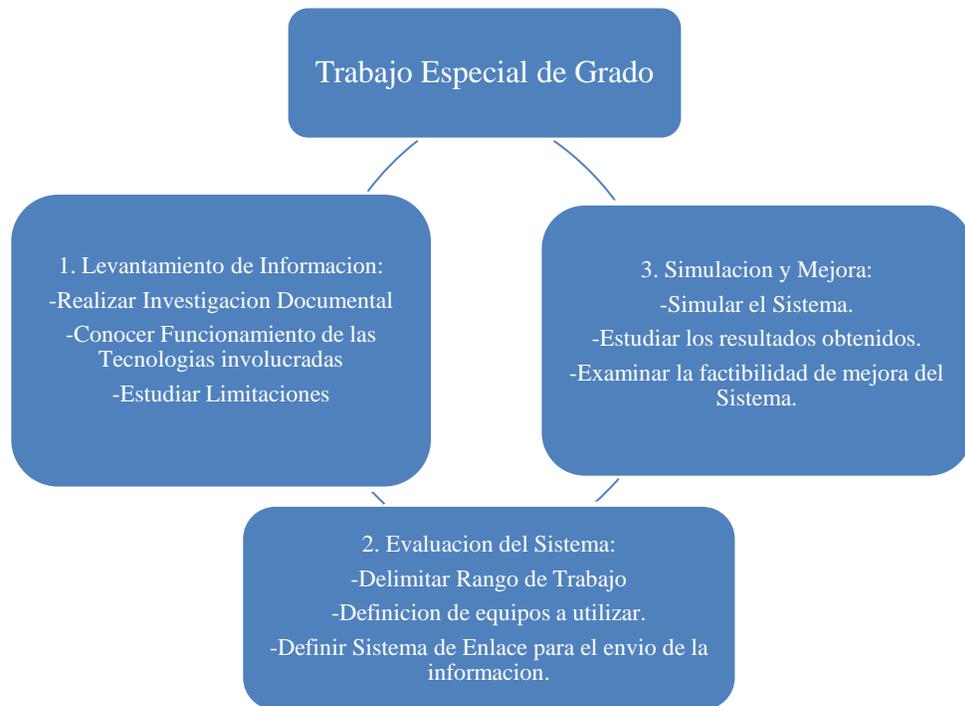


Figura III.1: Fases metodológicas

Fuente: Propia.

III.1 Levantamiento de información:

La documentación se centra en todos los conocimientos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto, así como en estudios afines realizados por otros investigadores para darles sustento teórico a todos los métodos, teorías y sugerencias que se realicen posteriormente.

Se realizó una profunda investigación documental para adquirir conocimientos acerca de las tecnologías planteadas: Televisión Digital Terrestre, Red Eléctrica y Power Line Communications. Para ello se recopiló y seleccionó información suministrada por Trabajos Especiales de Grado realizados en Universidades de Venezuela y de otros países, libros disponibles en la web, artículos y posteriormente entrevistas realizadas a expertos en las áreas mencionadas. Dichas entrevistas fueron

realizadas de manera verbal siguiendo un formato tipo cuestionario, en el cual se definieron preguntas que abarcaron tópicos relacionados con las tecnologías involucradas, esto con el fin de sustentar la información ya recopilada. Las preguntas formuladas fueron:

1. ¿Cuál es su opinión sobre la Televisión Digital Terrestre?
2. A su criterio, ¿qué ventajas ofrece la Televisión Digital Terrestre?
3. Del estándar ISDB-T adoptado por el país, ¿qué características considera favorables y que otras considera adversas?
4. En comparación con los demás sistemas de televisión digital, ¿sería ventajoso contar con un canal de retorno en Televisión Digital Terrestre? / ¿Porque?

Si La respuesta es positiva por favor ir a la pregunta # 5.

Si la respuesta es negativa por favor ir a la pregunta # 13.

5. ¿Considera viable económica y técnicamente la implementación de un canal de retorno? / ¿porque? / ¿en qué tiempo? (¿corto, mediano o largo plazo?).
6. ¿Cuáles serían las aplicaciones de un canal de retorno de Televisión Digital Terrestre?
7. ¿Qué impacto representaría en el mercado el uso de un canal de retorno para realizar mediciones de audiencia, tráfico, tiempos de audiencia, etc.?

8. De existir la posibilidad de implementación de un canal de retorno, ¿cuál sería la tecnología más adecuada a utilizar? / ¿Por qué?
9. ¿Considera factible el uso de la tecnología Power line Communications (PLC) para la implementación de un canal de retorno?
10. Teniendo en cuenta las condiciones de la red eléctrica en el país, ¿cree viable su implementación? / ¿Porque? ¿En qué tiempo?
11. ¿Existen diferencias entre las condiciones de la red eléctrica urbana y la rural?
12. ¿Qué opina usted sobre/como considera usted- el uso de la red eléctrica para la transmisión de datos?
13. Según su opinión, ¿qué haría falta para considerar su uso?
14. CORPOELEC cuenta con una red de fibra óptica. ¿Cuál sería su capacidad para el uso de un canal de retorno de televisión digital terrestre?
15. ¿Les resultaría beneficioso comercialmente el uso del tendido eléctrico como canal de retorno de la televisión digital terrestre?
16. Además de los usuarios, ¿qué sectores cree usted que podrían beneficiarse con la implementación de un canal de retorno mediante PLC?
17. Mucho agradeceríamos si tiene algún comentario adicional sobre el futuro de la Televisión Digital Terrestre.

El formato original de esta encuesta se encuentra anexo al trabajo especial de grado en el apéndice.

III.2 Evaluación del sistema:

Luego de haber realizado el levantamiento de información, se delimito el rango de acción según las limitaciones que presentan cada una de estas tecnologías. Además, se realizó un estudio de los sintonizadores (Set Top Box Argentino y Brasileiro).

Por otra parte, se definieron los equipos PLC a utilizar en la fase de simulación y mejora acorde a las especificaciones requeridas y a las limitaciones tanto económicas como logísticas para su consecución. En base a esto, se propuso un sistema de enlace que se adecue a las especificaciones obtenidas a lo largo de toda la investigación. De igual forma, se definió un diseño del sistema a simular.

III.3 Simulación y Mejora:

Para llevar a cabo la simulación del sistema en estudio, se diseñó una aplicación que permitiera demostrar la aplicabilidad del mismo. Una vez diseñada, se procedió a realizar dicha simulación bajo diferentes pruebas con el fin de demostrar la aplicabilidad del sistema de enlace propuesto en la fase anterior. Se analizaron los resultados obtenidos en función de la investigación documental realizada y seguidamente se examinó la posibilidad de mejoramiento del sistema según los parámetros y los resultados obtenidos en la simulación.

Capítulo IV: Desarrollo

En el siguiente capítulo se podrá encontrar de forma detallada el proceso mediante el cual fue desarrollado este Trabajo Especial de Grado. Dicho proceso se encuentra dividido en tres fases, las cuales fueron expuestas en el capítulo anterior, sin embargo en el presente capítulo se encontraran detalles del desarrollo de cada una de ellas.

I.1 Levantamiento de Información

Tras una profunda investigación documental basada en libros, páginas web, revistas y tesis, se logró la adquisición de conocimientos sustentables sobre la televisión digital terrestre, basándonos en el funcionamiento, ventajas, desventajas, arquitectura y situación actual de dicha tecnología en el país, centrándonos entonces en el estándar de televisión digital ISDB-T Internacional, adoptado por Venezuela. También se realizó una investigación sobre los sintonizadores o Set Top Box fabricados en Argentina y Brasil, describiendo su arquitectura a nivel de software y hardware, ya que estos han sido entregados en algunos sectores populares de Caracas. El middleware que opera este sintonizador, es el denominado *GINGA*, de procedencia brasilera, por lo que se integró una investigación al respecto. Seguidamente, se explicó la idea de canal de retorno y los posibles escenarios en el que este se puede comportar, sirviendo el punto de partida para llevar a cabo el estudio de la tecnología Power Line Communications.

Seguidamente se desarrolló el tópico de la red eléctrica, parte fundamental en el análisis y estudio de la tecnología Power Line Communications, ya que el diseño del canal de retorno va estrictamente ligado a ella. También se lograron conocer los parámetros técnicos que se tomaron en cuenta al momento de realizar pruebas. Finalmente se estudiaron los distintos tipos de interferencias, tanto de carácter interno como externo, que puedan estar presentes en la señal eléctrica.

Al término de esta investigación, se adentró finalmente en la tecnología *Power Line Communications (PLC)*, realizando una breve introducción en la cual se relaciona el desarrollo de la red eléctrica con la creación de la tecnología PLC y su evolución y así concluir con una definición más completa. También se estudiaron las diferentes topologías de sistemas PLC propuestas por diversos investigadores y empresas. Se abarcaron los tipos de modulaciones, acoplamientos, velocidades de transmisión, así como las limitaciones y alcances de dicha tecnología ya que con esta base y fundamentos teóricos se pudo definir el campo de prueba del canal de retorno y la aplicabilidad de esta tecnología.

Para complementar la investigación realizada, se buscó información en fuentes primarias mediante la aplicación de una entrevista a expertos en las diferentes áreas que convergen en el proyecto. Dichas entrevistas fueron elaboradas en base a un cuestionario previamente realizado, en el cual se atendieron tópicos que se consideraron de gran relevancia. De esta manera, se delimitaron una serie de puntos centrales con el fin de responder diferentes interrogantes, tanto en el campo de la TDT, La Red Eléctrica y PLC, como en la integración de todas estas tecnologías. Igualmente se conformaron preguntas desde el punto de vista comercial y de mercadeo, social, económico y tecnológico.

La idea principal de recabar información en la opinión de expertos en la materia, permitió la consideración de aspectos y tópicos de difícil consecución mediante fuentes secundarias tales como: la visión adaptada al país y la viabilidad real del tema central. Estas opiniones fueron de gran importancia, ya que van más allá del alcance técnico y de las posibilidades de implementación en cuanto a tecnología se refiere. Además, dichas opiniones explicaron una serie de factores esenciales que generalmente no fueron considerados en las fuentes secundarias consultadas. Estos factores tuvieron gran influencia en el diseño posteriormente propuesto, ya que son de tipo local y específicos al país. De estos factores mencionados se trataron puntos

como: las condiciones del tendido eléctrico, la situación actual de cada tecnología, la realidad social, avances de implementación, viabilidad real de implementación, entre otros. Dichos de esta forma, se logró evaluar la aplicabilidad y la viabilidad de la tecnología PLC como canal de retorno en el país.

I.2 Evaluación del Sistema

En esta fase de evaluación se realizó un estudio de los sintonizadores (Set Top Box) de origen Argentino y Brasileiro, los cuales son necesarios para la recepción de la señal de TV Digital en los televisores convencionales. Como primer paso, se evaluaron sus especificaciones con los manuales afines de conocer las características en cuanto a puertos o interfaces de salida de estos equipos. Principalmente se buscaba conocer la existencia de alguna interfaz que pudiera ser asociada con los equipos PLC, tal como la interfaz Ethernet (RJ45).

Posteriormente, en las entrevistas llevadas a cabo en la fase de levantamiento de información, se contó con la opinión de un experto en el área de Televisión Digital, con en el cual se tuvo la oportunidad de visitar la planta televisiva de Venevisión (canal privado) y acceder a una de las salas de control de estudios de dicho canal. En él, se contó con los sintonizadores nombrados anteriormente y se pudo evaluar con más detalle las especificaciones estudiadas. Se realizaron pruebas de conectividad, funcionamiento y configuración de cada uno de los equipos, así como revisiones de los puertos e interfaces a nivel de Hardware y Software. Vale acotar que las pruebas fueron realizadas conectando cada uno de los set top boxes a un televisor analógico y posteriormente observando en la pantalla la señal entregada en formato digital.

Tras realizar estas pruebas, se procedió a diseñar un sistema de canal de retorno para lo cual fue preciso utilizar toda la información previamente recolectada y el análisis hecho en función de estos conocimientos. Este sistema integra los tres tipos

de equipo PLC descritos abiertamente en el Marco Teórico. Vale acotar, que la poca accesibilidad y alto costo en los equipos PLC referentes a los sistemas de distribución y sistemas *Outdoor* (equipos *IR's* y *HE's*), conlleva a que el estudio realizado en la fase de Simulación y Mejora se enfocara en el sistema *Indoor*.

Luego fue realizado un sub-diseño del sistema antes planteado con el fin de simular el canal de retorno por medio de la red eléctrica. Para ello, se utilizaron dos equipos CPE, específicamente “*SlingLink Power Line Ethernet Bridge*” modelo SL 100-100, el cual cuenta con un puerto “Ethernet” situado en el panel frontal del dispositivo (véase Figura IV.1), de igual forma muestra tres *led's* que identifican la actividad de la conexión de red. Estos *led's* se identifican con “*Power*”: indicando parpadeo cuando hay datos transmitidos por la red eléctrica, “*Link/Activity*”: indica cuando el puente Power Line esta encendido y “*Ethernet*” se encenderá de forma continua cuando exista conexión Ethernet activa (véase Figura IV.2). Estos dispositivos manejan una tasa de datos de hasta 14 Mbps según sus especificaciones.



Figura IV.1 Dispositivo CPE “*SlingLink Power Line Ethernet Bridge*”

Fuente: Propia.

El diseño de la aplicación que permitió demostrar la aplicabilidad del sistema propuesto, consistió en un medidor de audiencias o *rating* que fuera capaz de

registrar, enviar y almacenar los parámetros relevantes a este tipo de estudio. De esta manera, se consigue ejemplificar mediante una simulación la viabilidad de implementación de aplicaciones a través de un canal de retorno que emplee la tecnología PLC en la TDT.



Figura IV.2 CPE “SlingLink Power Line Ethernet Bridge” (Panel Frontal y Posterior)

Fuente: Propia.

A fines de poder simular un esquema completo de comunicaciones, esta aplicación se estructuró en dos grandes partes principales posteriormente desarrolladas: Sistema Transmisor (Tx) y Sistema Receptor (Rx). (Véase Figura IV.3)



Figura IV.3: Sistema General de comunicaciones de la aplicación

Fuente: Propia

IV.1 Simulación y Mejora

El diseño fue realizado en la plataforma de desarrollo de la empresa *National Instruments* llamada “LabVIEW” en su versión 8.5. Esta plataforma permite la programación de sistemas mediante el uso de una consola interactiva que maneja sub-programas, herramientas, métodos y funciones representadas como objetos. Es por esta razón que se le denomina como un entorno de programación gráfica, en donde se pueden diseñar interfaces de usuario como diagrama de bloques o de diseño de ingeniería.

Entre las ventajas que presenta este programa, se encuentran su flexibilidad a nivel de hardware y software, la integración de todas las fases del procesamiento de la señal (recolección, análisis y entrega de datos) y la alternativa de contar con un gran número de funciones prediseñadas que facilitan el desarrollo de la programación.

Cada programa realizado en *LabVIEW* tiene como nombre “VIs” o *Virtual Instrument* y se desglosa en 2 partes:

- **Panel Frontal (*Front Panel*)**

Representa la interfaz gráfica en la cual se visualiza aquello que debe ser visto por el usuario desde el momento en el que se comienza a desarrollar, hasta una vez que el VI esté terminado. Entre los tipos de

bloques, métodos y funciones que se muestran en él, se tienen todas aquellas que permitan la inserción o ilustración de datos en general. Es decir, en esta pantalla se contara con los controles de ingreso de variables, los indicadores de resultados, pantallas visuales, etc.

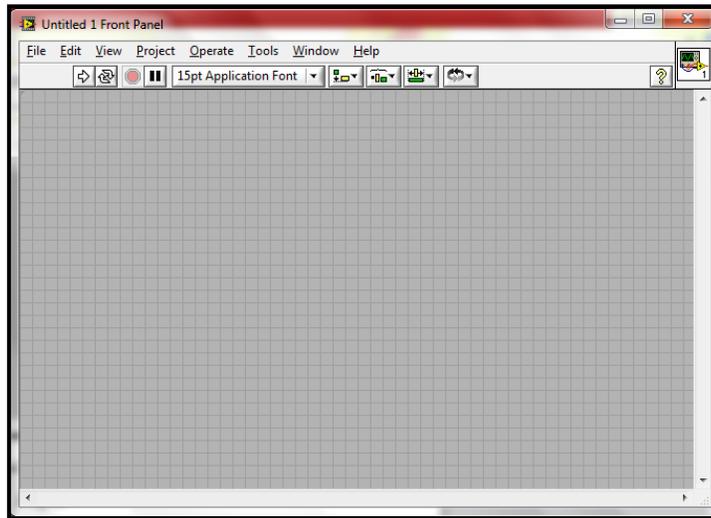


Figura IV.4: Panel Frontal de un VI en LabVIEW v8.5.

Fuente: Propia.

- **Diagrama de Bloques (*Block Diagram*)**

Representa el código fuente del VI, encontrándose las interconexiones de las herramientas, métodos, funciones y diferentes procesos con el cual se construyen las aplicaciones. Vale acotar que cualquier proceso llevado a cabo en el diagrama de bloques que implique la inserción o ilustración de datos o señales, se reflejara automáticamente en *el Front Panel*. De la misma forma ocurre con lo que se coloque en el panel frontal. (A su vez se reflejara en el diagrama de bloques).

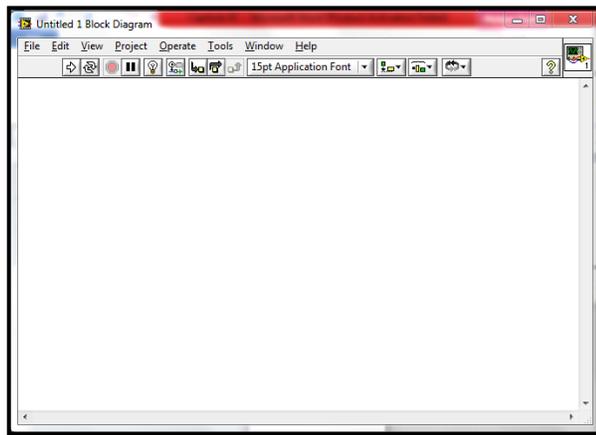


Figura IV.5: Diagrama de Bloques de un VI en LabVIEW v8.5.

Fuente: Propia.

- **Paletas (Tool, Control, Functions Palette)**

Contiene la gran gama de herramientas, funciones y métodos, que se utilizan en este entorno de desarrollo. Con estas paletas se realiza prácticamente todo el grueso de la aplicación.

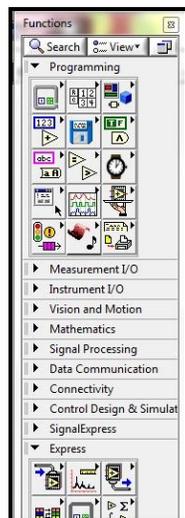


Figura IV.6: Paleta de funciones en LabVIEW.

Fuente: Propia

De esta manera, se procedió a esquematizar una planificación de desarrollo en el cual se delinearón los pasos consecutivos a tratar para hacer posible la generación, transmisión y recepción de datos. Cada parte de esta estructura fue diseñada en VI's apartes del principal con la intención de comprobar su correcto funcionamiento al término de su programación. En los casos en los que se registraba algún error, se buscó una solución en el mismo VI externo. En los casos en los que no se registraron errores y se arrojaban resultados satisfactorios, se procedía a integrar lo hecho al VI principal.

Una vez integrada la estructura al VI principal, se procedía a correr las estructuras acumuladas hasta el momento para verificar su correcta implementación. En el caso de que ocurriera algún error, se revisaban las funciones de cada variable respectiva a herramientas y funciones del VI de manera sistemática y reiterativa para descartar posibles causas. Este proceso se llevó a cabo una y otra vez hasta integrar todo el sistema Tx.

Luego se inició el desarrollo del sistema Rx repitiendo la misma metodología aplicada en el desarrollo del Tx. Posteriormente se agregaron los procedimientos necesarios para realizar conexiones en cada uno de estos sistemas y así conseguir un enlace entre ellos. Para conseguir enlazar los VI's principales, correspondientes al Tx y Rx, se programaron VI's externos, en los cuales se realizaron diseños y pruebas que permitieran desarrollar la estructura de enlace. Posteriormente, aplicamos la metodología de prueba realizada para el Tx y el Rx.

Al término de lo antes descrito, se procedió a realizar una serie de pruebas delineadas a continuación:

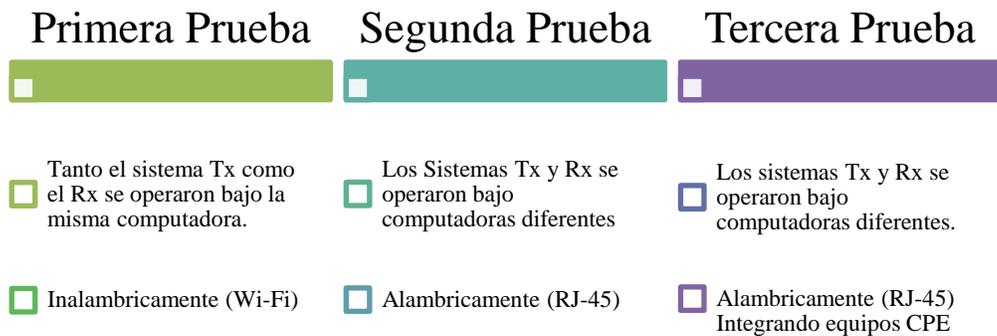


Figura IV.7: Tipos de pruebas realizadas.

Fuente: Propia.

La primera prueba se diseñó a fines corroborar el funcionamiento de la aplicación desarrollada. Ambos VI's fueron ejecutados desde una misma computadora, transmitiendo al medio y recibiendo del mismo la señal tratada. Esta prueba se realizó en reiteradas ocasiones, implementando la metodología de desarrollo descrita anteriormente hasta lograr el enlace. Al término de su consecución, se prosiguió a realizar la prueba siguiente.

La segunda prueba tuvo como función configurar los parámetros de interconexión entre los terminales del sistema (las computadoras). Esta prueba consistía en un ensayo más asemejado al sistema planteado al establecerse de manera alámbrica, consiguiendo avanzar a la siguiente prueba en donde se estudiaría la inclusión de la tecnología PLC. Siguiendo con la misma metodología y apegados al diseño de la prueba se consiguió enlazar ambos sistemas.

Así llegamos a la realización de la tercera prueba, la cual completaba el proceso de simulación del sistema propuesto. Teniendo las aplicaciones de transmisión y recepción de parámetros referentes a la sintonización y *raiting* de la TDT y el diseño de un canal de retorno en el que se integrara el uso de la tecnología PLC mediante equipos CPE, nos permitió completar una prueba que englobara el

sentido principal y fundamental del proyecto, integrando tanto las tecnologías estudiadas en el capítulo II, como los análisis y diseños descritos posteriormente.

Finalmente, al recopilar los resultados obtenidos de todas las fases que integraron este trabajo especial de grado, se procedió a examinar la factibilidad de mejora del sistema y simulación propuesta, tomando en cuenta tanto las fuentes teóricas recopiladas de fuentes secundarias como los puntos de vista prácticos obtenidos mediante fuentes primarias. En pocas palabras, se tomó en cuenta la evaluación final realizada al sistema.

Capítulo V: Resultados

La información suministrada en este capítulo concentra los resultados obtenidos de cada una de las fases descritas en el marco metodológico y en el desarrollo. A fines de lograr una ilustración coherente, se estructuraron los resultados en función a cada una de las fases metodológicas.

V.1 Levantamiento de Información

La consecución de los tres primeros objetivos específicos de este trabajo especial de grado, correspondientes al estudio de la Televisión Digital Terrestre, la Red Eléctrica y la Tecnología Power Line Communications, se reflejan en el marco teórico. En él, se encuentra la compilación de una extensa base teórica que abarca tópicos de la TDT tales como sus fundamentos, ventajas, estándares (europeo, americano, chino y japonés), arquitectura, interactividad, sintonizadores ISDB-T, Middleware, GINGA, Seguridad y Canal de retorno con sus posibles escenarios de implementación.

De la misma manera se describen los tópicos de la red eléctrica relevantes al estudio de PLC tales como: su topología, parámetros técnicos, interferencias en las señales de transmisión (internas, externas e inmunidades) y su comportamiento como medio de transmisión (características favorables y adversas). Finalmente se logra exponer el estudio referente a la tecnología PLC, en donde se abarcan puntos tales como: su origen y evolución, definición, estructura, tipos de sistema, tipos de equipos, topología física, su funcionamiento, técnicas de modulación empleadas, su arquitectura lógica, la distribución de frecuencias, velocidades de transmisión, la capacidad del canal, su acoplamiento, limitaciones, requerimientos de seguridad y de calidad. Es así como se logra conseguir una base teórica consecuente con el trabajo que se deseó realizar, obteniendo los conocimientos necesarios para afrontar los demás objetivos planteados.

Seguidamente con la realización de las entrevistas a expertos en las áreas involucradas sobre TDT, la Red Eléctrica y PLC, se consiguieron responder a las interrogantes planteadas en el cuestionario descrito en el Marco Metodológico. Esta diversidad de opiniones se concentra a continuación.

Con respecto a las preguntas referentes a la opinión y ventajas sobre la televisión Digital Terrestre, los entrevistados coincidieron en que dicha tecnología aporta numerosas ventajas, resultando como las más importantes las descritas en la *Figura V.1.*



Figura V.1: Ventajas de la TDT según Expertos.

Fuente: Propia

En cuanto a la opinión sobre la implementación de la TDT en el país se obtuvieron opiniones encontradas, pues para algunos es vista como un sistema celular que necesita grandes inversiones a nivel tecnológico y monetario para poder implementarla, mientras que otro punto de vista, infiere que la implementación de la TDT en el país es técnicamente factible, agregando que actualmente se están realizando pruebas, pero por una serie de factores intrínsecos a la situación actual del país no se visualiza la correcta implementación a futuro.

Estos factores vienen dados en primer lugar porque las pruebas que se están realizando en materia de TV Digital están siendo dirigidas por solo entes gubernamentales, dejando a un lado los posibles vínculos con las industrias televisivas privadas, universidades y otros organismos que pudieran participar en ese proceso de desarrollo, de forma tal, que sea de conocimiento público la manera en las que están siendo llevadas dichas pruebas y los resultados de las mismas.

En segundo lugar, como los canales privados no tienen participación en la realización de esas pruebas, se mantienen en desconocimiento de que es lo que se está implementado, generando abstinencia de inversiones en esa área. Según una de nuestras fuentes, el ente estatal encargado en manejar este tema se denomina “Red TV”, los canales de televisión que transmiten en difusión abierta se ven obligados a entregarle a ellos la señal que quieren transmitir y estos se encargan de difundirla sin retornar información sobre frecuencias y formatos en los cuales están siendo transmitidas sus señales. En conclusión, existe una falta de planificación y de normativa en las pruebas que se están realizando en materia de televisión digital terrestre en el país y por esa razón se dificulta su panorama de implementación.

De acuerdo a las características que presenta el estándar ISDB-T adoptado por el país, los expertos consideraron que una de las razones favorables es que permite incorporar sistemas móviles en el mismo espacio de frecuencia que cada canal de televisión tendrá habilitado, además de la tasa de bits errados y el aprovechamiento del ancho de banda, ya que las 8192 portadoras que son el máximo que se pueden tener, dedicadas a diferentes servicios.

Seguidamente, en las preguntas referentes al canal de retorno, se afirma la ventaja que tiene la implementación de un canal de retorno, ya que la misma representa un avance tecnológico y serviría como medio de interacción entre los usuarios y los prestadores de servicios. Según las fuentes primarias consultadas, se

están desarrollando guías de programación atractivas para el televidente las cuales integran juegos multimedia y aplicaciones referidas a las redes sociales, tomando en cuenta que el gran atractivo de captación de los usuarios es el uso del internet, y bajo ese punto de vista se empezaría desarrollando el concepto de interactividad. De igual forma, se destaca que una de las aplicaciones que sería de gran receptividad lo representa la guía electrónica interactiva de programas, en la cual el usuario pueda solicitar servicios o programación específica, juegos, concursos, chats, entre otras.

A nivel de mercadeo, estas aplicaciones desarrolladas causarían gran impacto económico al estimular el surgimiento de nuevas aplicaciones inherentes a los canales de programación, como por ejemplo: realizar mediciones de audiencia y tráfico. Esto ayudaría a determinar las programaciones que cuentan con más receptividad por parte de los usuarios, incentivando la constante mejora de prestación de servicios. Esto, se relaciona estrechamente con las compañías de publicidad que compran un espacio de tiempo en la televisión para realizar campañas publicitarias, ya que se incrementaría la definición de targets y por consiguiente, se amplía la capacidad de comercialización de un producto.

Es importante mencionar que la viabilidad de la implementación de un canal de retorno, depende principalmente de la puesta en marcha y buen funcionamiento del sistema de TV Digital Terrestre, ya que al ser implementada, el despliegue de un canal de retorno podría darse en corto o mediano plazo, dependiendo de la tecnología que se utilice para ello. Como es el estado gubernamental el encargado de implementar la TDT, cae bajo su responsabilidad la puesta en marcha de un canal de retorno, sin embargo, cualquier avance se mantiene en desconocimiento. Lo que resulta de conocimiento público en esta materia, es la adquisición de los sintonizadores que permitirían captar y observar la señal digital en los televisores convencionales, los cuales ya han sido suministrados mas no están siendo aprovechados en su totalidad por el usuario. Solo es posible observar la mejor calidad en imagen y sonido con respecto a la señal que se recibe en formato analógico pero

aun no es posible explotar las otras funcionalidades como la interactividad que ofrece el canal de retorno.

Seguidamente, los expertos entrevistados consideran viable para la implementación el uso de la tecnología celular, debido a la situación a nivel tecnológico que se encuentra gran parte de la población, ya que podrían utilizarse equipos celulares (móviles) para el uso del canal y dicho equipo sería independiente del televisor. Esta tecnología pudiera ser LTE (*Long Term Evolution*), sin embargo aún no se han asignado frecuencias en el país para esa tecnología, pero la misma está siendo desplegada y diversas compañías como Huawei, Alcatel, Movistar y Digitel ya han realizado pruebas. El hecho de observar avance en esa área, estima su integración al sistema de retorno de datos. Para que pueda ser utilizada la tecnología celular, se requerirían equipos terminales (móviles) que operen a la frecuencia del canal de retorno de acuerdo a los canales de programación, de manera que a la celda a la que se le está suministrando la señal realice un control de potencia para poder enviarla.

Por otra parte, la tecnología PLC es vista desde el punto de vista técnico factible para la implementación como canal de retorno. Sin embargo, por ser una tecnología que depende primordialmente del estado de la red eléctrica, no resulta clara la cobertura que alcanzaría en el país. Es de conocimiento público el mal estado de la red eléctrica por falta de mantenimiento y seguimiento, lo que trae como consecuencia el mal funcionamiento de la misma. Se sugiere empezar por optimizar esa red para luego ser considerada su implementación a otros servicios una vez que el sistema de TV Digital se termine de asentar en el país.

En el supuesto caso de que la red eléctrica del país se encuentre en condiciones favorables, los expertos consideran que la misma puede ser utilizada para la transmisión de datos tomando en cuentas ciertas variables, como velocidad de transmisión y el estado del cableado en general, ya que es muy probable que no todos los hogares, en especial los de zonas rurales, tengan las mismas condiciones de

cableado para la distribución de la energía, puesto que no cumplen normativas ni estándares técnicos establecidos para tal fin. A parte de esto, sostienen que la red de fibra óptica con la que cuenta Copoelec puede ser utilizada como red de transporte para el envío de datos, ya que la misma cuenta con gran capacidad y está siendo sub-utilizada.

Desde el punto de vista comercial, el uso del tendido eléctrico como canal de retorno representa un beneficio económico a la organización Corpoelec porque obtendría ingresos monetarios por el uso de su red de parte de los desarrolladores de aplicaciones interactivas y de los mismos canales de televisión. Además los canales de televisión obtendrían beneficios económicos, ya que prestarían su infraestructura para que los proveedores de servicios desarrollen sus aplicaciones.

Finalmente, los entrevistados cerraron exponiendo sus ideas sobre el futuro de la Televisión Digital Terrestre, destacando que es una plataforma digital de alta tecnología que necesita personal altamente capacitado para llevar a cabo su implementación. Sustentan que hay poca demanda de personal que logre cubrir esa área, además de argumentar que si se implementa de la manera en la que se viene desarrollando en el país existen altas probabilidades de eliminar los canales comunitarios existentes, los cuales tienen poca potencia y cubren pequeñas áreas de cobertura y no se ha pensado en digitalizar esos servicios.

Así mismo, se destacó que para la implementación del canal de retorno sobre la red eléctrica es necesario tomar en consideración las modulaciones a realizar en ese medio, ya que por el mismo pasan varias señales y no está diseñado principalmente para el envío de datos, así como los equipos de alta protección y filtros que deben ser utilizados para contrarrestar las interferencias y el ruido. Realizar un estudio de aceptabilidad por parte de los usuarios para conocer su disposición a utilizar esa tecnología de acuerdo a los beneficios que esta les pueda ofrecer, informando a la

población sobre la utilidad de este medio y de los servicios que se pueden disfrutar por él.

Actualmente con las pruebas que se están realizando para televisión digital, los entes encargados han donado los sintonizadores (set top box) en los sectores rurales de caracas, específicamente en Catia y los sectores de “La Bandera” y por la falta de información existe un desconocimiento sobre su uso, en la mayoría de los hogares no disfrutan del beneficio que por ahora les permite el set top box, que es la recepción de una mejor calidad de imagen y sonido de la señal de programación. En conclusión, no solo se necesita apoyo técnico de parte de las instituciones y personal capacitado, sino que debe llevarse la información a los usuarios de los avances tecnológicos que se están realizando y que serán de beneficio para ellos.

V.2 Evaluación Del Sistema

V.2.1 Delimitación del Rango de Trabajo

La delimitación del rango de trabajo fue delineado por las limitaciones propias de las tecnologías involucradas en la investigación. En gran parte, la recopilación de datos fue realizada de manera global en cuanto a conceptos y definiciones se refiere. Se consiguió construir una base teórica completa, que enmarca consistentemente cada aspecto de relevancia en la integración de las tecnologías tratadas en el trabajo especial de grado. Sin embargo, se logró recabar en una serie de tópicos locales, referentes a la situación actual del país tales como a nivel comercial, social, político, económico y de mercadeo. De esta manera, logramos reunir suficiente base teórica para inferir y aportar en las siguientes fases del proyecto.

Es importante aclarar que más allá de las ventajas que ofrece la TDT, la desinformación que existe en el país en cuanto al desarrollo y planificación se refiere,

influye negativamente en el rango de desarrollo de cualquier ente externo al grupo estatal encargado de llevar las pruebas en el país. Nosotros no somos la excepción, por lo cual se indago en base a toda la información que el estado ha proporcionado al conocimiento público.

V.2.2 Definición de equipos a utilizar

A pesar de lo mencionado anteriormente, tuvimos la oportunidad de contar en primer momento con el manual del sintonizador ISDB-T con el que se están realizando las pruebas actualmente, lo cual nos permitió evaluar las especificaciones del equipo. Como resultado conseguimos la existencia de una interfaz Ethernet (RJ-45), la cual está integrada al equipo a fines de futuras implementaciones relativas a interactividad y canal de retorno como tal.

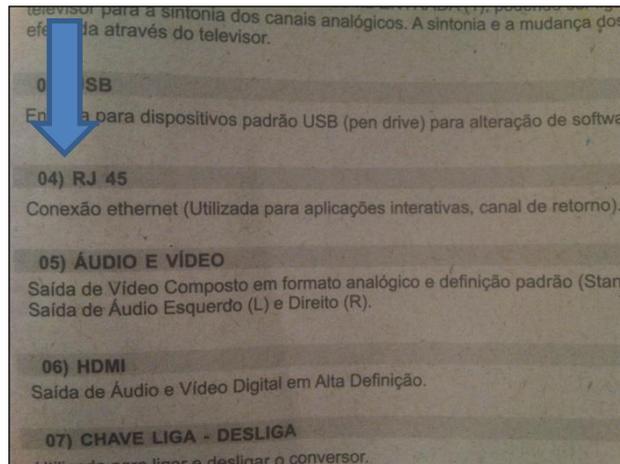


Figura V.2: Especificación de Conector RJ-45, Manual Sintonizador VT7200.

Fuente: Propia.

No.	Item	Función/ Indicador
5	Conectores	
	Entrada Digital RF	1 x Ftype, IEC-DIN Hembra
	Salida Digital RF	1 x Ftype, IEC-DIN Hembra
	Salida CVBS	1 x RCA
	Salida Ch3 / Ch 4	1 x Ftype IEC-DIN Hembra (Shared with RF Output, Software Selectable)
	Salida YPbPr	3 x RCA
	HDMI	1(para HDTV)
	Audio (Estéreo)	2 x RCA
	Salida de Audio Digital	RCA (Coaxial)
	Ethernet	1 x RJ45, 10/100 Base-T
USB2.0	2 x USB2.0 (Front and Rear)	



Figura V.3: Especificación de Conector en Manual Nova-ISDB-T-T7102.

Fuente: Propia.

En un segundo momento, al contar con los dos equipos sintonizadores ISDB-T, (tanto el brasilero como el argentino) procedimos a realizar pequeñas pruebas de funcionamiento. En primer lugar, verificamos ambos equipos a fines de corroborar la información previamente obtenida en los manuales y ciertamente encontramos las interfaces Ethernet (Véase *Figura V.4* y *Figura V.5*). Seguidamente, al conectar cada sintonizador a un televisor analógico logramos corroborar que las interfaces graficas que mantienen estos equipos, integran en una zona de configuración una sección referente a la salida de datos (Véase *Figura V.6*). De esta forma, se garantiza que ambos equipos contienen la interfaz necesaria para la integración de los equipos PLC a un sistema de canal de retorno.

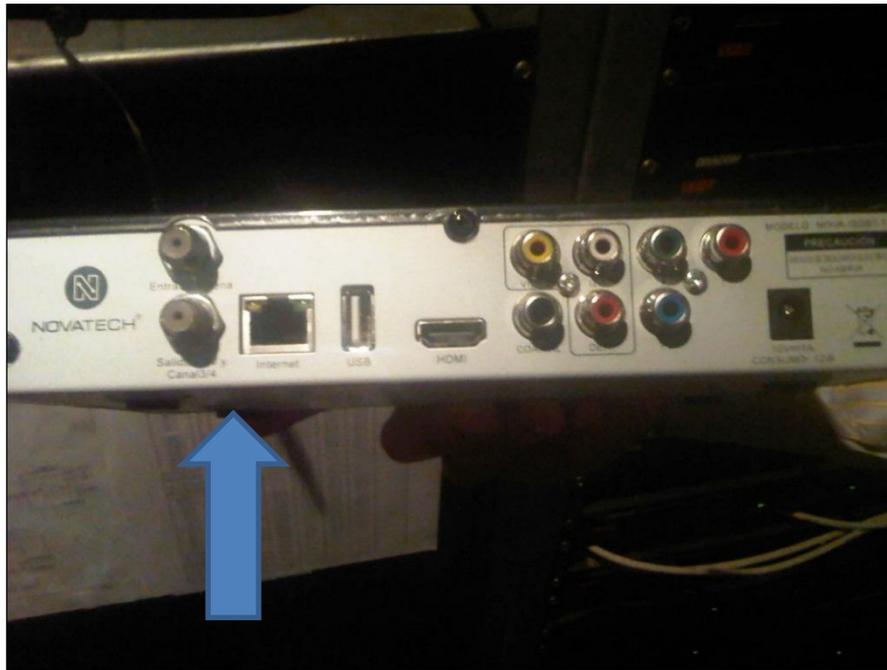


Figura V.4: Puerto RJ-45 del Nova ISDBT-T-T7102. Parte Posterior.

Fuente: Propia

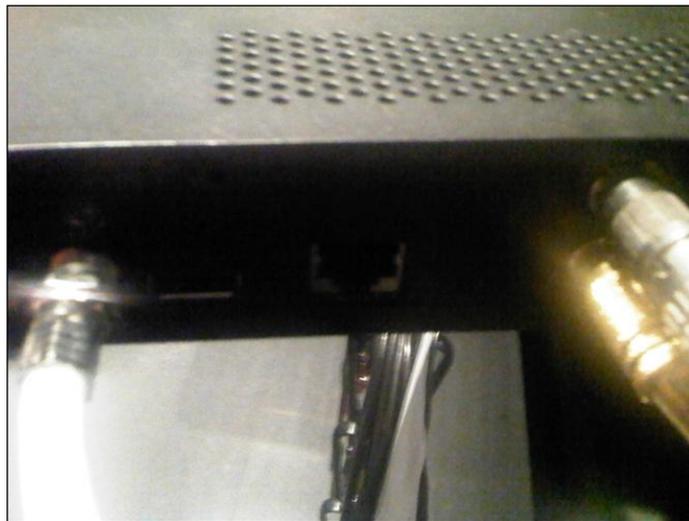


Figura V.5: Puerto RJ-45 del ISDBT VT7200 (Brasileiro)

Fuente: Propia.

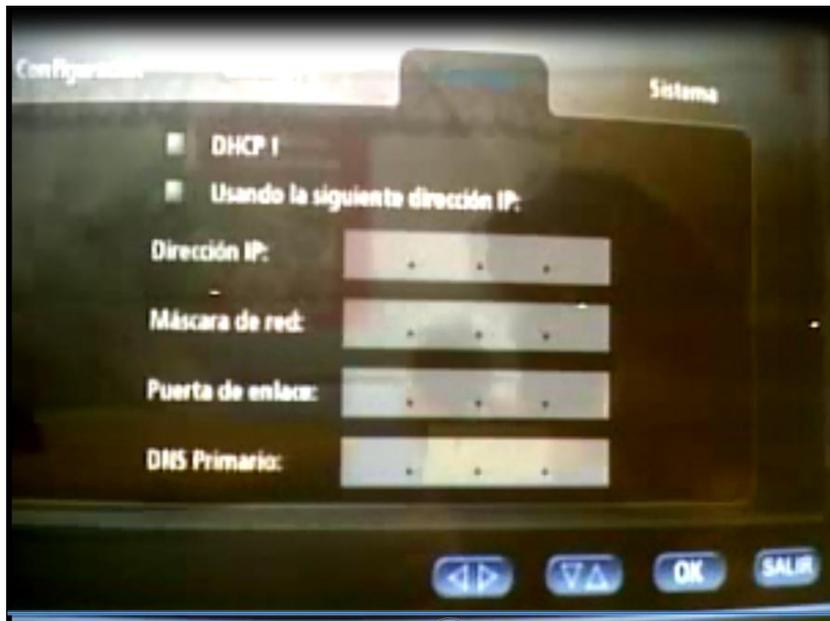


Figura V.6: Interfaz de Configuración Puerto Ethernet.

Fuente: Propia

Por otro lado tenemos la información recabada en el ámbito eléctrico. El hecho de que las instalaciones eléctricas en el país se realicen bajo cierto grado anárquico, implica la existencia de tendidos eléctricos desapegados a cualquier estándar o norma, de malos empalmes en líneas de media y baja tensión, y sobrecargas de conexión en un mismo nodo (entre otras variables), que en conclusión aportan grandes interferencias en el medio. Por otro lado tenemos el escaso o inexistente mantenimiento de la red, la ineficacia en la prestación del servicio eléctrico y las ineficientes metodologías de gestión llevadas a cabo por los entes correspondientes. En consecuencia a todo esto, tenemos una parte considerable del tendido eléctrico en condiciones realmente adversas, las cuales dificultan enormemente la transmisión de datos bajo este medio.

Cualquier implementación de canal de retorno mediante la tecnología PLC debe contar con un tendido eléctrico en buenas condiciones y preferiblemente apegada a

estándares internacionales, ya que de esta manera se puede garantizar su operación. Aun sabiendo que las líneas de potencia no fueron diseñadas para la transmisión de datos, resultan un medio efectivo que cumple con el trabajo bajo ciertos parámetros. Por otra parte, el alcance que tiene la red eléctrica es el más grande en cualquier sistema de comunicaciones en el mundo. Este es el punto de mayor fuerza de la tecnología PLC. Sin embargo, las condiciones inherentes de la red eléctrica del país dificultan el uso en masa de todos los sistemas PLC.

V.2.3 Definición del sistema de canal de retorno

V.2.3.1 Diseño de canal de retorno general

Aplicando los conocimientos obtenidos en el capítulo II, conseguimos proponer un diseño para el canal de retorno de la TDT empleando PLC a fines de lograr el tercer objetivo específico de este trabajo especial de grado. (Véase Figura V.7).

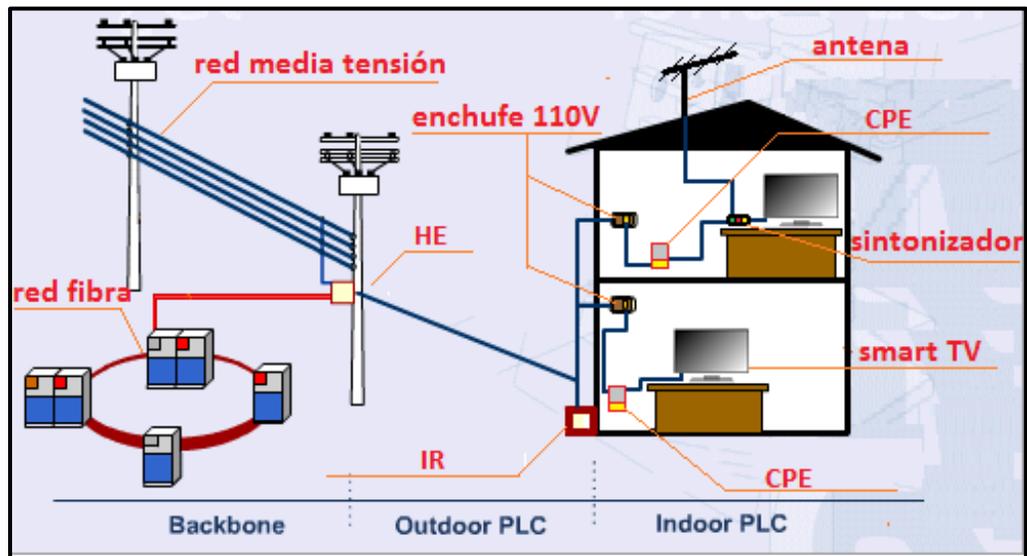


Figura V.7: Topología del canal de retorno PLC

Fuente: Propia.

Este diseño se describe de la siguiente manera:

1. Se recibe la señal de televisión digital por medio de una antena.
Dependiendo del tipo de televisor se tendrán dos posibles escenarios.
 - a. **Televisor convencional (*standart* NTSC)**
 - i. La señal proveniente de la antena ira conectada al sintonizador ISDB-T.
 - ii. Se dispondrán distintas salidas de audio y video para llevar la señal de televisión al televisor.
 - iii. Del sintonizador ISDB-T se dispone de una salida de datos, la cual se conectara CPE.
 - b. **Smart TV (*standart* configurable)**
 - i. Se dispone de una salida de datos, la cual se conectara CPE.
2. El CPE ira conectado a un enchufe. De esta manera, se tendrán los datos en la red eléctrica del hogar.
3. Una vez teniendo la señal en la red eléctrica doméstica, se transmitirá hasta la acometida del hogar, en donde se tendrá un IR para preservar los datos enviados.
4. Los datos pasaran por un HE para evitar que las interferencias de la transformación de tensión de la señal dañe la señal. Esto se realizara mediante filtros ubicados en los transformadores de baja a media tensión.
5. Se transmite la señal a la sub-estación eléctrica más cercana, en donde se integraran los datos a la red de fibra ya existente en EDC (electricidad de caracas).

Es importante recalcar que el sistema y las aplicaciones de canal de retorno no requieren equipos CPE de gran capacidad, ya que se manejara un corto ancho de banda. Aun en los equipos IR y HE, se exige poca capacidad en relación a otros usos.

De esta manera, se propone un diseño completo de canal de retorno para la televisión digital abierta utilizando la tecnología *Power Line Communications* como canal de retorno. Sin embargo, no es un esquema aplicable a cualquier sector del país. Este diseño fue pensado para implementarse en sectores que mantengan un buen estado del tendido eléctrico. De la misma manera, las condiciones del tendido eléctrico en los sectores más populares tales como las barriadas de las grandes ciudades del país, imposibilitan la implementación de este o cualquier otro diseño de canal de retorno que integre PLC. En el mejor de los casos podría implementarse algún diseño que integre la tecnología PLC solo a nivel *Indoor*, y esto si las condiciones locales de la red son favorables.

V.2.3.2 Diseño del sistema de canal de retorno a simular

La idea fundamental es llevar a cabo la simulación de una aplicación referente a los servicios que puede ofrecer el canal de retorno de la TDT, integrando la tecnología PLC en el diseño del mismo. Al plantear el diseño de una aplicación capaz de enviar datos referentes al contenido de programación sintonizado por el usuario, tomamos en cuenta cuatro parámetros fundamentales: la identificación del canal sintonizado, la identificación de la programación, el tiempo de inicio de sintonización y la duración de sintonización. Para esto, se tomaron como referencia de programación tres videos de formato “.mp4”, asignados cada uno a un diferente canal.

La definición del sistema de enlace para el envío de la información estructurado genéricamente en el capítulo IV, genero el diseño de un sistema de canal de retorno estructurado en las dos grandes partes principales que fueron a su vez desarrolladas, logrando realizar la siguiente esquematización:

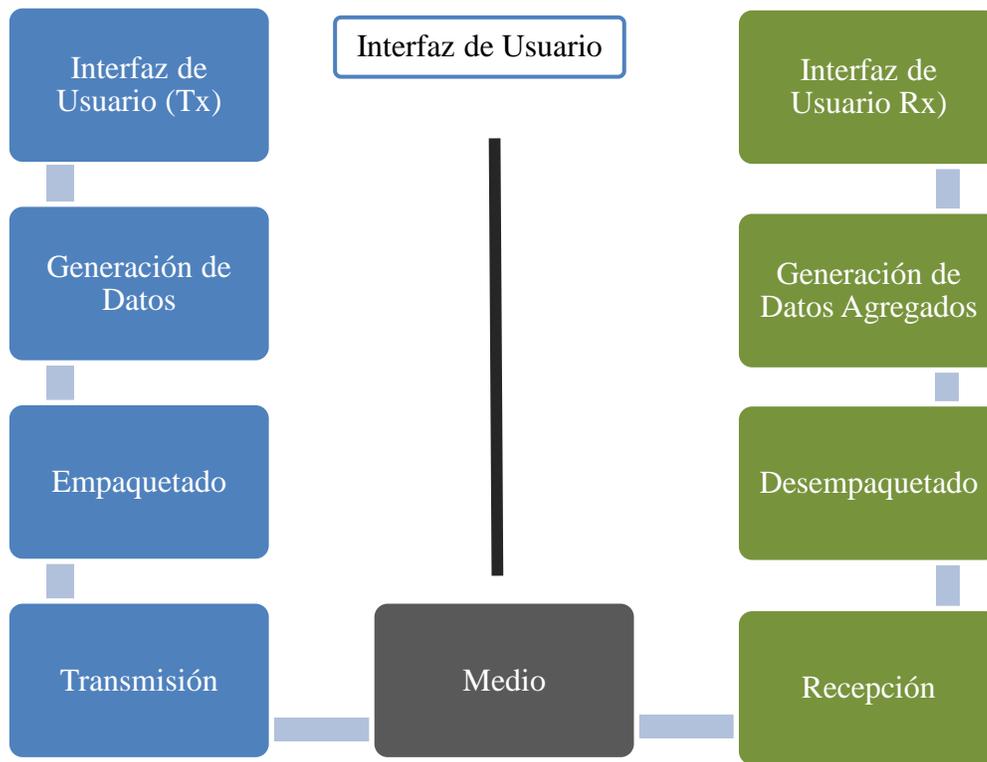


Figura V.8: Esquemización del diseño Tx (Azul)-Rx (Verde).

Fuente: Propia.

V.2.3.2.1 Sistema Transmisor (Tx)

El sistema transmisor fue esquematizado en cuatro partes fundamentales: la Interfaz de usuario, la generación de los datos, el empaquetado de los mismos y su posterior transmisión. Vale acotar que se cuenta con una sección de configuración en la cual se ingresan las direcciones de los archivos a utilizar.

- Interfaz de Usuario

Representa la simulación del medio de visualización que tiene un usuario de TDT. De esta manera, se diseñó una estructura compuesta de las siguientes partes:

- Pantalla Principal

Simula la pantalla del televisor en la cual se visualizaran las imágenes en formato digital. Es uno de los principales objetos contenidos en el Panel Frontal del VI de Transmisión, formado por un visor basado en Windows Media Player que opera bajo programación en lenguaje Grafico (Lenguaje G). (Véase Figura V.9)

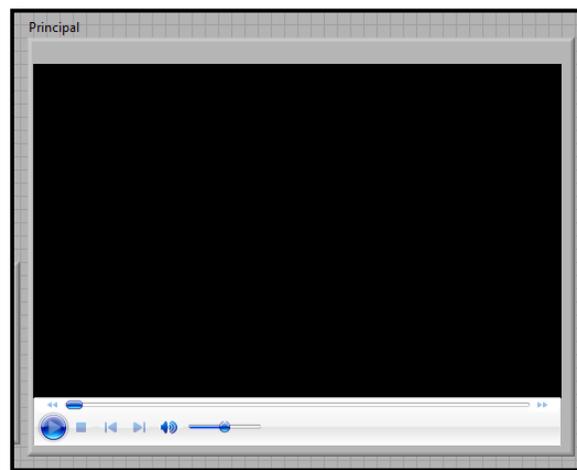


Figura V.9: Pantalla Principal (Panel Frontal).

Fuente: Propia.

En la *Figura V.10*, se muestran los bloques necesarios para tratar las propiedades del archivo de video seleccionado por el usuario, ya sea del Canal 1, 2 o 3. Basta con obtener la dirección de ubicación del archivo de video (URL) y la referencia entregada por el visor Windows Media Player.

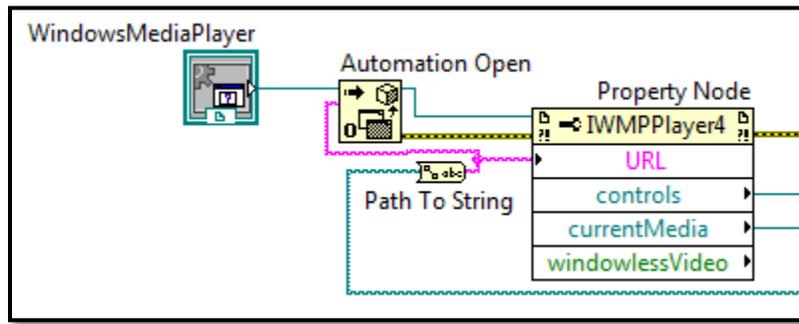


Figura V.10: manejo de las propiedades del archivo de video.

Fuente: Propia.

La invocación del URL seleccionado, se realiza mediante una serie de procesos y funciones en la sección de Diagrama de Bloques. Estos procesos están conformados por anidaciones de estructuras cíclicas, condicionales y eventuales. De esta manera se realizaron comparaciones de parámetros que nos permitieron denotar la selección realizada desde el Panel Frontal. (Véase Figura V.11)

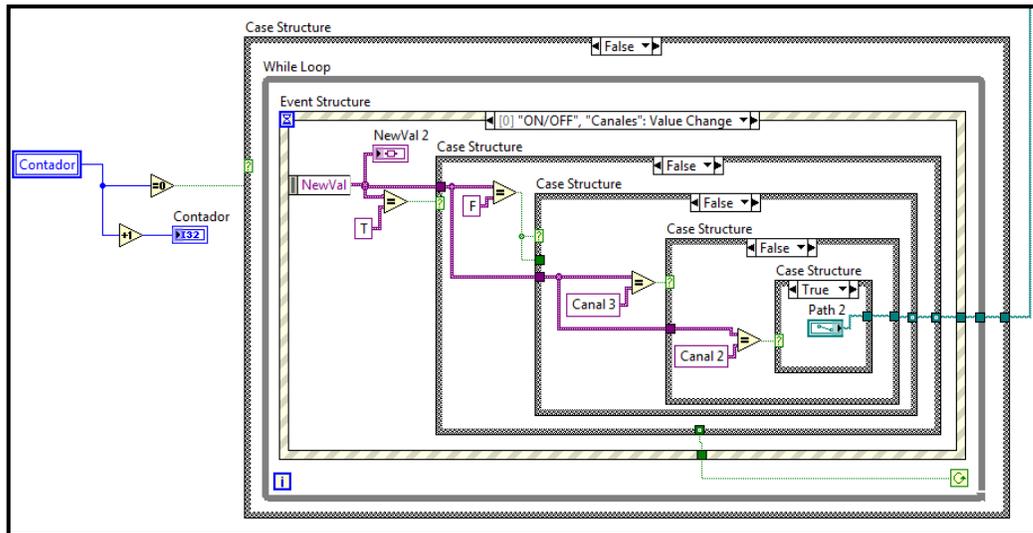


Figura V.11: Estructuras anidadas para la selección del URL.

Fuente: Propia

En la *Figura V.12* expuesta a continuación, se muestran los bloques que permiten la reproducción del video seleccionado y el parado del mismo.

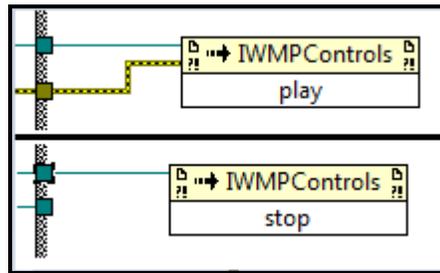


Figura V.12: Bloques requeridos para la reproducción del video.

Fuente: Propia.

Estos bloques están contenidos en una estructura selectiva (*Case Structures*), la cual realiza un determinado proceso dependiendo del tipo de entrada que se reciba. Esta es controlada por otro conjunto de estructuras tanto eventuales (*Event Structures*) como anidaciones de estructuras selectivas. Una estructura eventual es aquella que otorga una respuesta en el momento en el que una determinada variable presente una determinada eventualidad, como por ejemplo: el cambio de valor en una variable.

La estructura eventual indicada en la *Figura V.13*, es la controladora de un conjunto de estructuras selectivas anidadas, que por su parte, realizan un determinado proceso dependiendo del valor de entrada recibido. Es a la salida de esta estructura anidada, que se obtiene el valor controlador de la estructura selectiva, que a su vez, contiene a los bloques que permiten la reproducción o

parada de los archivos de video indicados en la *Figura V.12*.
(Véase *Figura V.13*)

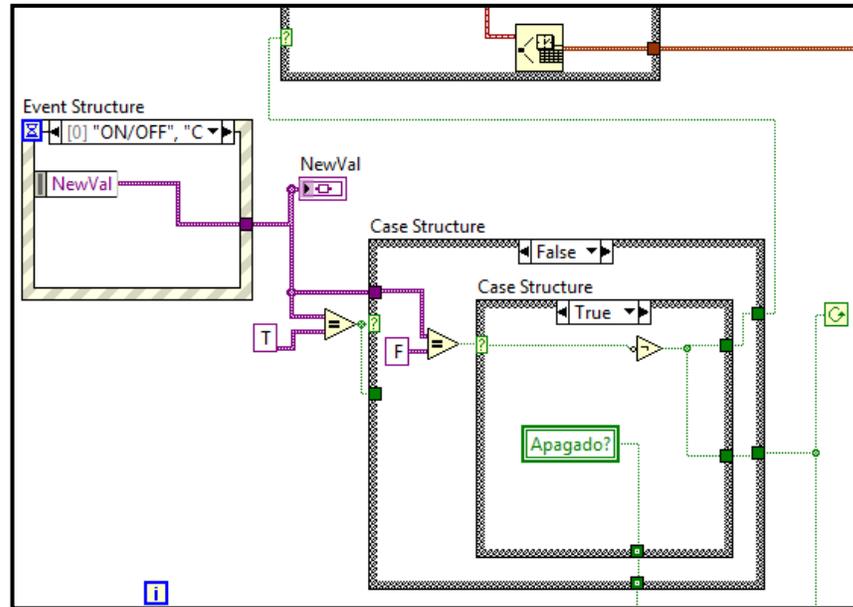


Figura V.13: controlador del estado de reproducción del archivo de video.

Fuente: Propia

○ Control

Simula las operaciones de interés a este estudio en cuanto a la interacción existente entre el usuario y el televisor, tales como: Encendido, apagado y cambio de canales. Se cuenta con un solo botón para el encendido y apagado del sistema y un selector de canales que puede tomar los valores de: Canal 1, Canal 2 y Canal 3. En la sección de diagrama de bloques están representados como controles que manejan una serie de variables locales a lo largo del programa. Por otro lado, las variaciones de este control provocaran la invocación del proceso de selección de URL anteriormente descrito.

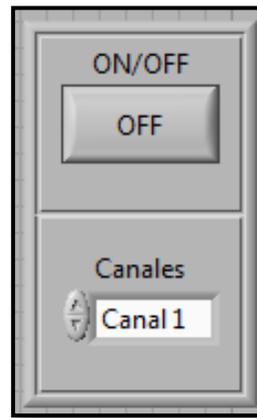


Figura V.14: Control del sistema.

Fuente: Propia.

○ Gestión de Configuraciones de enlace TCP

Simula las configuraciones de IP necesarias para realizar el enlace entre el sistema transmisor y el receptor. Básicamente, es una interfaz que integra tres controles mediante los cuales se deben ingresar los parámetros de dirección IP y puerto de destino, y el puerto de salida local, quienes forman los parámetros necesarios para realizar una conexión TCP. En la sección de diagrama de bloques están representados como controles.

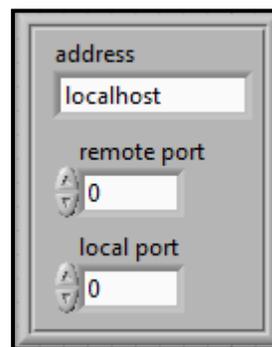


Figura V.15: Gestión de Configuraciones TCP.

Fuente: Propia.

- ***Generación de datos***

Esta parte del programa engloba la manera en la que se realizan las selecciones de parámetros que se desean transmitir. Dado que esta aplicación simula un sistema de mediciones de audiencia, se toman en cuenta ciertos parámetros, relativos a la programación sintonizada por el telespectador, tales como: identificación del canal, identificación de la programación, el tiempo de inicio y la duración de sintonización.

- Identificación del canal (CH ID)

Este parámetro contiene la información que determina el canal que está siendo sintonizado. La manera en que se programó en el Diagrama de Bloques del VI del transmisor, consistió en la utilización en derivar del control del selector de canal una variable local de tipo escritura, quien otorga en su salida un valor asociado al canal sintonizado. Esta, fue contenida en la misma estructura selectiva en la que se encuentra el bloque que reproduce el video. De esta forma, se consigue obtener este parámetro en el momento en el que se lleve a cabo la reproducción del archivo. (*Véase Figura V.16*)

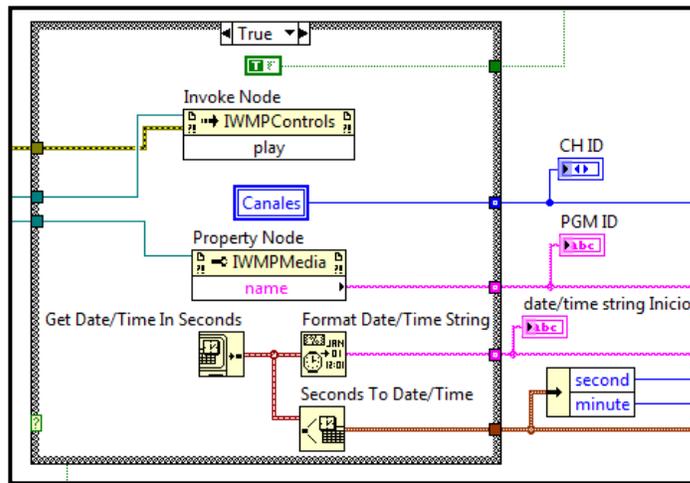


Figura V.16: Generación de parámetros a transmitir.

Fuente: Propia

- Identificación de la programación (PGM ID)

Este parámetro contiene la información que determina la programación del canal que está siendo sintonizado. Para su obtención, se requiere una señal referencial del archivo que se esté manejando para que la función utilizada extraiga solo el contenido correspondiente al nombre del archivo, el cual se utilizara como el nombre de la programación sintonizada. Si observamos la *Figura V.16*, observamos cómo se ubica en el Diagrama de Bloques del VI (línea rosa).

- Tiempo de inicio (TI)

El parámetro del tiempo de inicio de sintonización se encuentra contenido dentro de la misma estructura. Para conseguir este parámetro, se cuenta con una función que obtiene la fecha y tiempo (en segundos) actual en el momento en el que se dispara la estructura. Esta señal la recibe una segunda función capas de adecuar su formato

al tipo de dato *string*, el cual resulta más manejable. (Véase Figura V.16)

- Duración (DUR)

Este parámetro indica el tiempo total de sintonización del programa. Para la obtención de sus datos se aprovechó la señal extraída de la función generadora de fecha y tiempo. Esta señal fue pasada por una función capaz de tomar el parámetro de los segundos y construir una señal que mantenga los valores de la fecha exacta desglosada en cada parámetro referente a fecha y tiempo (segundos, minutos, horas, días, semanas, etc.). Al término de este proceso, la señal puede ser desglosada en cada uno de sus sub-parámetros, lo cual permite realizar una selección de aquellos que nos resulten de interés. En este caso, se tomaron las señales que contienen el parámetro de los segundos y minutos. (Véase Figura V.16)

Si bien hasta el momento no se tiene la información de la duración que lleva acumulado el programa, es porque para obtener este parámetro se necesita que el usuario cambie de canal o apague el televisor. Es decir, el parámetro de la duración se obtendrá al término de la sintonización de cada programación. Para esto, es necesario enviar una señal que notifique la eventualidad. Es así como se integró a la otra parte de la misma estructura selectiva el generador de momento (fecha y tiempo). (Véase Figura V.17) el transmisor se encargara de enviar estos reportes (tanto el de inicio como el de fin de sintonización) para su posterior manejo.

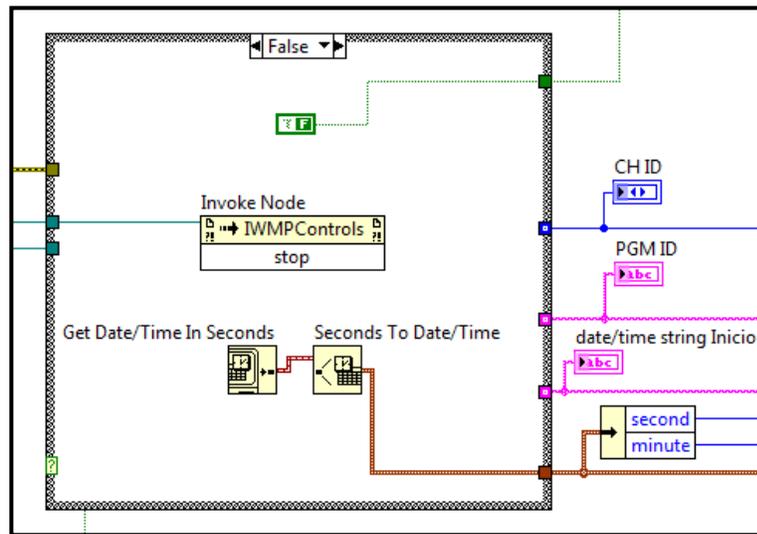


Figura V.17: Generación del parámetro complementario de la Duración.

Fuente: Propia.

- **Empaquetado**

Una vez obtenidos los parámetros a enviar, deben ser empaquetados para su posterior transmisión. Sin embargo, este proceso no puede realizarse de manera arbitraria ya que imposibilitaría el desempaquetado coherente de los datos. Para lograr esta coherencia fue necesario diseñar una trama de datos que mantuviera ciertas características específicas, tales como: Orden de empaquetamiento, peso total y tamaño del parámetro PGM ID. Esta trama se denominó: Trama I.

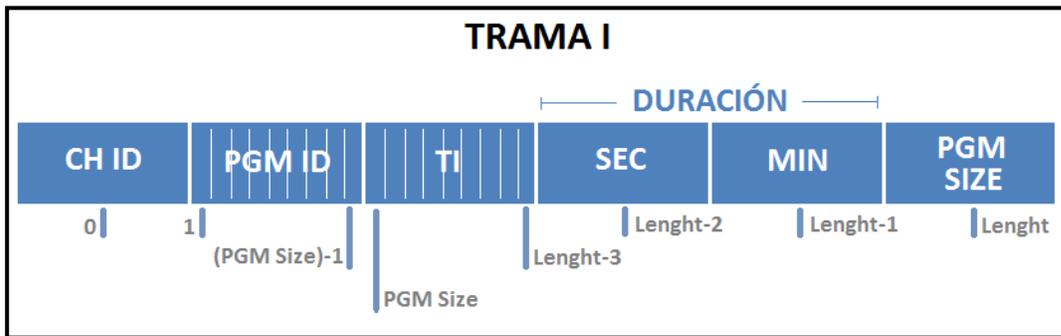


Figura V.18: Tratamiento posicional de la Trama I.

Fuente: Propia.

Tanto el orden de empaquetamiento como el tamaño del parámetro PGM ID se definieron a fines de hacer viable el desempaquetado de datos en el sistema receptor, mientras que el peso total vino dado por los requerimientos inherentes en el sistema de enlace de datos utilizado. De esta manera, el peso total fue establecido en 292 bytes y el orden de empaquetamiento resulto el siguiente: CH ID, PGM ID, TI, DUR, PGM SIZE.

Para el caso de apagado del sistema no se envía la misma trama, ya que los únicos parámetros generados son los referentes a la duración de sintonización. Los demás parámetros son descartables ya que al momento de apagar el televisor, la información del canal y programa sintonizado, como del tiempo de inicio, no aplican. Por esta razón se define una segunda trama de datos específica para este caso llamada Trama II, conformada por: Cabecera de diferenciadora, segundos y minutos de sintonización, y Bytes de relleno en ese mismo orden (Véase Figura V.19).

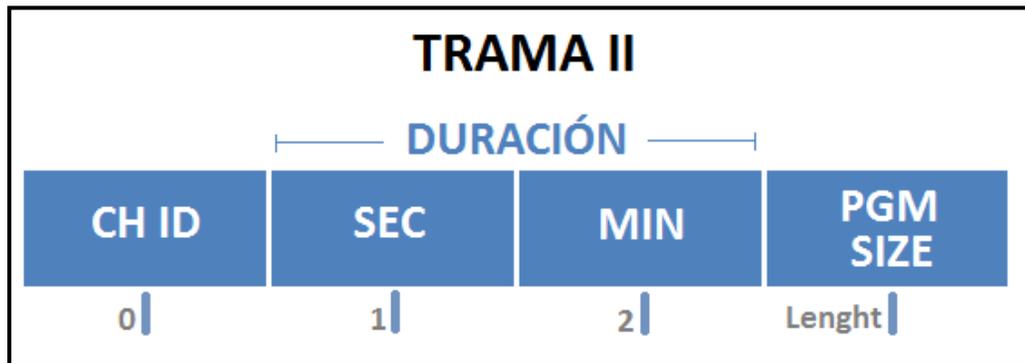


Figura V.19: Tratamiento posicional de la Trama II.

Fuente: Propia.

La Cabecera diferenciadora tiene como sentido informar al receptor el cambio de trama efectuado. Los parámetros de segundos y minutos de sintonización se envían para realizar el proceso respectivo que derive en la obtención de la duración del último programa sintonizado. Finalmente, se envía un arreglo de *Bytes* de relleno para cumplir con los requerimientos del peso total de la trama.

En el Diagrama de Bloques del VI Tx, utilizamos un constructor de arreglos, conversores de datos *String* a *Arreglo de Bytes* y una función capas de calcular el tamaño de la señal numérica que se tenga. (Véase *Figura V.20* y *Figura V.20*)

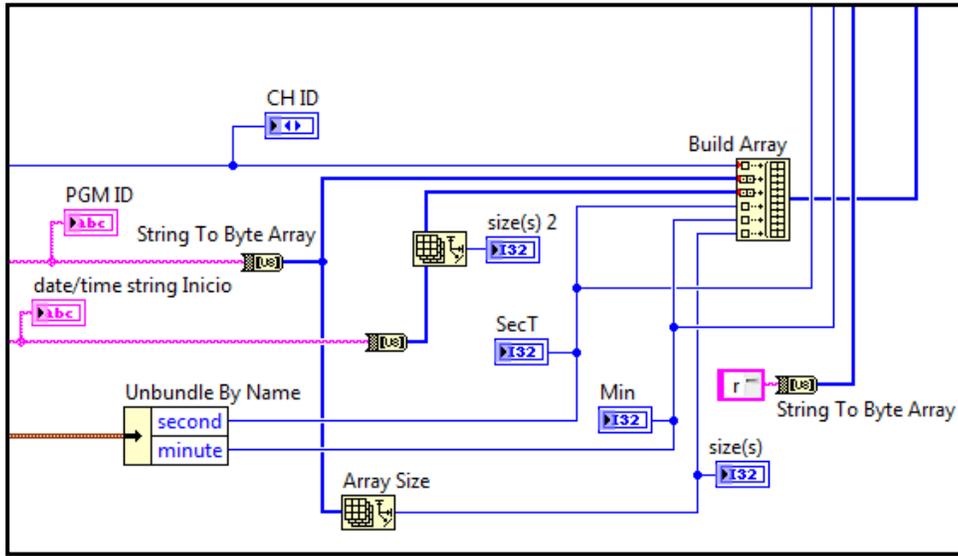


Figura V.20: Proceso de Empaquetado de la Trama I.

Fuente: Propia

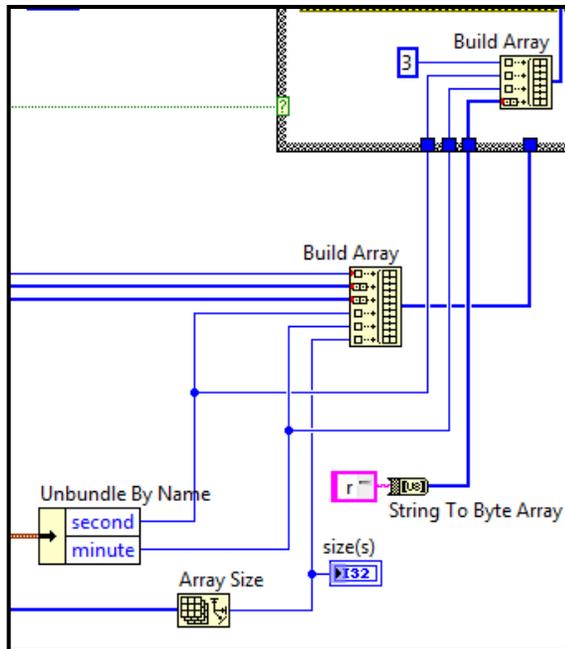


Figura V.21: Proceso de Empaquetado de la Trama II

Fuente: Propia

- **Transmisión**

En esta etapa se asegura la realización de un enlace TCP entre el sistema transmisor y el receptor, adecuando la trama a transmitir mediante un conversor de datos que logra adecuar el formato de la señal a transmitir al requerido por el sistema de enlace. Una vez teniendo estos datos en *strings* planos, solo se requiere tener una configuración de parámetros de conexión bien hecha.

En el Diagrama de Bloques se presenta la función que abre la conexión TCP. Es esta quien requiere los parámetros de dirección IP y puerto del receptor, el tiempo de espera de conexión y el puerto de salida local. En caso de tener una conexión exitosa, esta función procederá a referenciar con los parámetros de la conexión establecida a la función encargada de enviar los datos. Esta función requiere, además de dichas referencias, la especificación del tiempo de espera y la data a enviar. Finalmente se procede a cerrar la conexión.

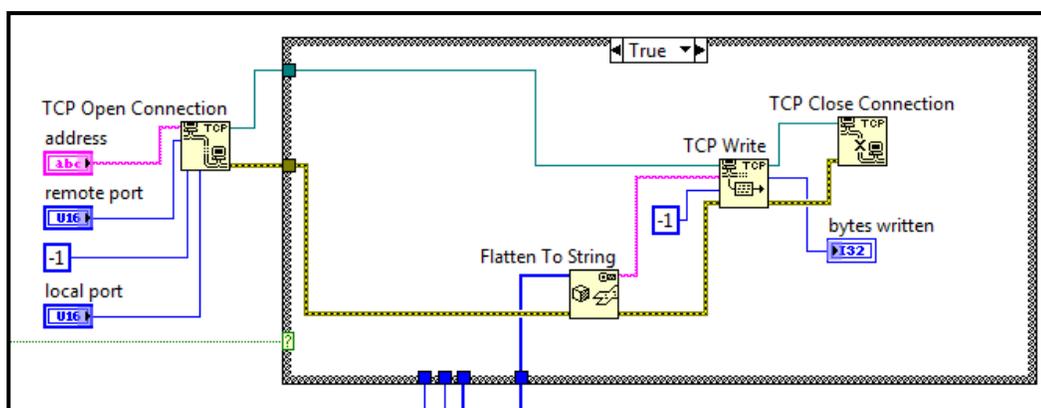


Figura V.22: Proceso de establecimiento del enlace TCP y transmisión de datos.

Fuente: Propia

V.2.3.2.2 Medio

La descripción del medio tiene 3 vertientes correspondientes a los tres tipos de prueba realizadas y descritas en el Capítulo IV. Para la primera prueba, el medio lo representaron las ondas de radio frecuencia y un *router Belkin N150 modelo F9K1001V4*.



Figura V.23: Medio operante en la primera prueba.

Fuente: Propia.

Para la segunda prueba, el medio fue constituido por un cable UTP categoría 5E. Finalmente, para la tercera prueba, el medio estuvo conformado por: un par de cables UTP categoría 5E, el par de equipos CPE *Sling Media SlingLink* modelo SL100-100 y la vía de tensión eléctrica.



Figura V.24: Medio operante en la tercera prueba.

Fuente: Propia.

V.2.3.2.3 Sistema Receptor (Rx)

El sistema receptor fue esquematizado en tres partes fundamentales: Recepción, desempaqueado, generación de datos agregados y pantalla de resultados. Vale acotar

que está configurado para recibir la señal mediante las mismas interfaces que las utilizadas en la etapa de transmisión (Ethernet).

- **Recepción**

Esta primera etapa forma parte del establecimiento del enlace TCP entre el sistema transmisor y receptor, y de la lectura de los datos provenientes del medio para entregarlos en formato plano.

En la sección de Diagrama de Bloques del VI de recepción, se encuentra la función encargada de proponer la conexión TCP “escuchando” las posibles solicitudes emergentes. Para esto se requiere configurar tanto el puerto mediante el cual se desea entablar el enlace, como el tiempo de espera por conexión. La referencia de enlace resultante es entregada a la función encargada de leer los datos enviados desde el sistema de recepción. En este punto se debe configurar tanto el tiempo de espera de lectura como la cantidad de bytes que se esperan leer.

El mal cálculo en la cantidad de bytes a leer podría generar una serie de errores que dificulten la recepción de la señal. Esta es la razón por la cual se definió un peso total de trama, ya que de esta manera la cantidad de bytes que se esperara recibir será siempre la cantidad de bytes enviados.

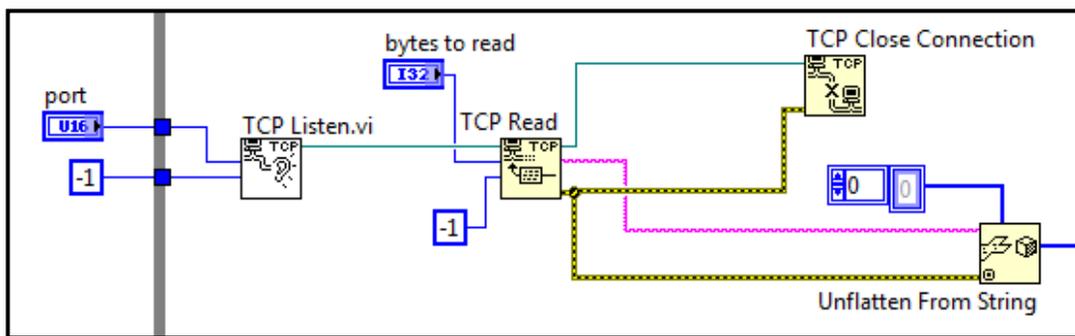


Figura V.25: Proceso de establecimiento del enlace TCP y recepción de datos.

Fuente: Propia

Al concluir el proceso de lectura de bytes, se pasa la referencia del enlace a la función encargada de cerrarlo. Los datos recibidos son transformados de su estado plano a un formato de arreglo de bytes para facilitar el proceso de desempaquetado.

- **Desempaquetado**

Al contar con el arreglo que representa la señal recibida, se procede a comparar la cabecera de la trama con el valor diferencial fijado en el sistema, con el fin de seleccionar el procedimiento a realizar.

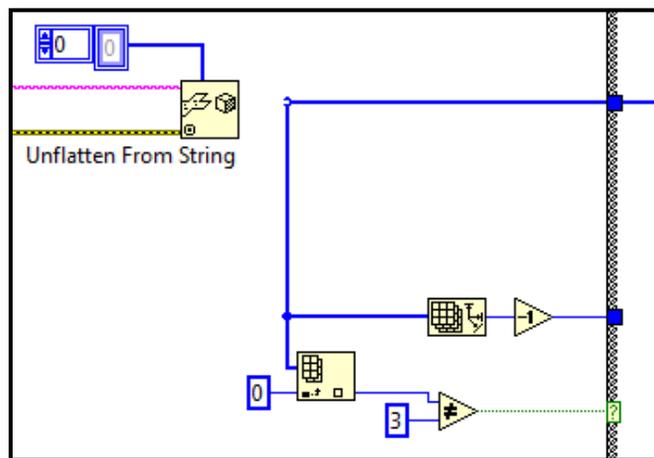


Figura V.26: Selección del procedimiento a realizar en la recepción.

Fuente: Propia.

En ambos casos la trama se desglosará en función de obtener los valores de interés. En el caso de que el resultado de la comparación indique que se ha recibido la Trama I o II, se dispondrá del esquema de posicionamiento con el cual se llevara a cabo el desglose de cada parámetro requerido (Véase Figura V.18 y Figura V.19 respectivamente).

Si recibimos la Trama I, podemos recuperar el parámetro CH ID al posicionarnos en el puesto “0” de la trama. Seguidamente se realiza un proceso de comparaciones para determinar el Canal sintonizado. (Véase Figura V.27).

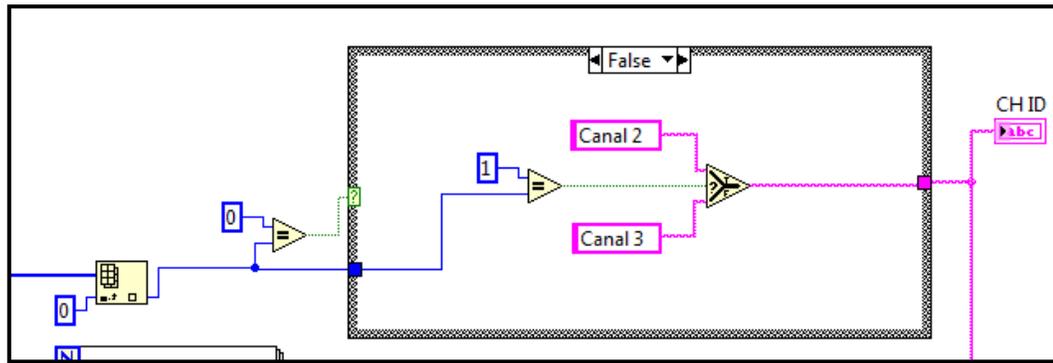


Figura V.27: Extracción, comparación y definición del parámetro CH ID.

Fuente: Propia.

El siguiente parámetro presenta un proceso un poco más complejo, ya que el tipo de información contenido en la siguiente posición de la trama es un arreglo de bytes. Es decir, la trama en general es un arreglo de arreglos, por lo cual la manera para extraer los valores de este arreglo requirió el desarrollo de un método diferente.

De este parámetro solo podemos inferir dos cosas: la posición siguiente inmediata al “0” es el “1”, y en esta posición, tendremos como mínimo 1 valor referente al parámetro PGM ID. Gracias a la inclusión del tamaño de este sub-arreglo al final de la trama, podemos recuperarlo y así definir el punto en el que acaba el PGM ID (PGM Size-1).

Para recorrer, extraer y almacenar todos los datos pertenecientes a este arreglo nos valemos de una estructura cíclica y una función apuntadora de arreglo de bytes. Finalmente, habiendo recuperado el sub-arreglo, se procede a la conversión del dato

al tipo de dato *string* para posteriormente contar con el parámetro PGM ID. (Véase Figura V.28)

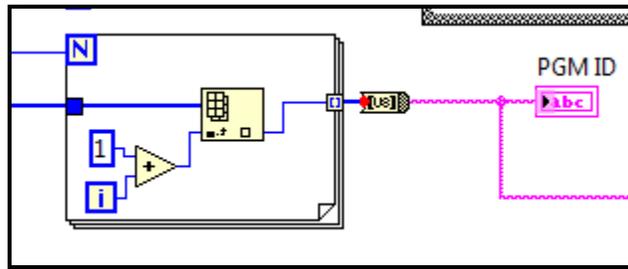


Figura V.28: Recuperación del parámetro PGM ID.

Fuente: Propia

Para la recuperación del parámetro TI, se aplica un método similar al utilizado para la recuperación del PGM ID. El valor inmediatamente siguiente al final del subarreglo anterior está en la posición $(\text{PGM Size}-1) + 1 = \text{PGM Size}$. Mediante el método de recuperación aplicado en PGM ID obtenemos una cadena de *strings* a la cual se le aplican unos ajustes de formato para poder mostrarlas en pantallas sin inconvenientes. (Véase Figura V.29)

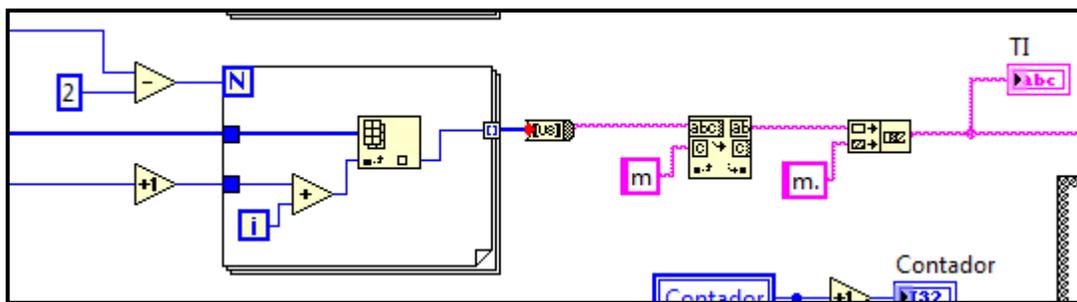


Figura V.29: Recuperación del parámetro TI.

Fuente: Propia.

La recuperación de los parámetros referentes a duración (segundo y minutos), se realizaron contando la trama desde la longitud de la trama hacia atrás. Los valores resultantes son ingresados a una estructura selectiva anidada para el tratamiento de los datos. En el caso de haber obtenido la Trama II, se obtienen estos parámetros posicionándonos en la casilla 1 y 2 respectivamente y se realiza el mismo proceso que con los datos desempquetados de la trama I.

- **Generación de Datos Agregados**

Esto se realiza, dado que los valores obtenidos como parámetros de duración están expresados en segundos, por lo cual se necesita un delicado proceso en el cual se lleven estos valores al formato digital en el cual deben presentarse los resultados (Horas:Minutos:Segundos, HH:MM:SS). Además, este proceso está diseñado para esperar por la segunda carga de parámetros con los cuales calcular la duración de sintonización. El primer paso consistió en aplicar la conversión de la duración en segundos a minutos/segundos (Véase Figura V.30).

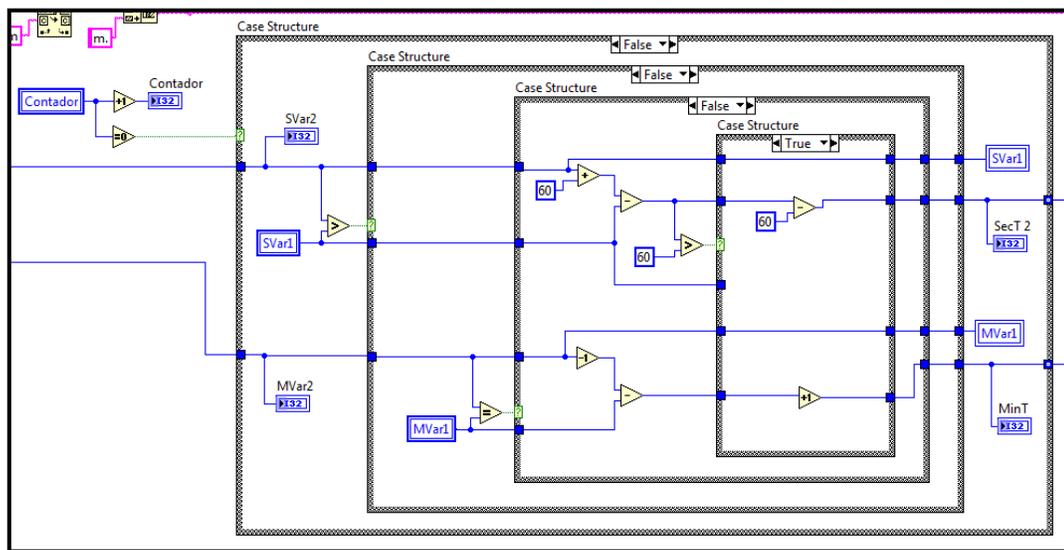


Figura V.30: Conversión de los parámetros en segundos a minutos/segundos.

Fuente: Propia

Posteriormente, se desglosa tanto el número referente a los minutos como a los segundos de manera tal que se puedan manejar por unidades. Esto, con el fin de conseguir el valor su valor según la tabla ASCII para realizar el empaquetado que logra colocar la duración bajo el formato horario digital (Véase Figura V.32). La consecución de los valores de ASCII de cada número, fue posible gracias a la previa realización de un VI capaz de realizar dicha conversión mediante un largo proceso de comparación y selección de opciones. (Véase Figura V.31)

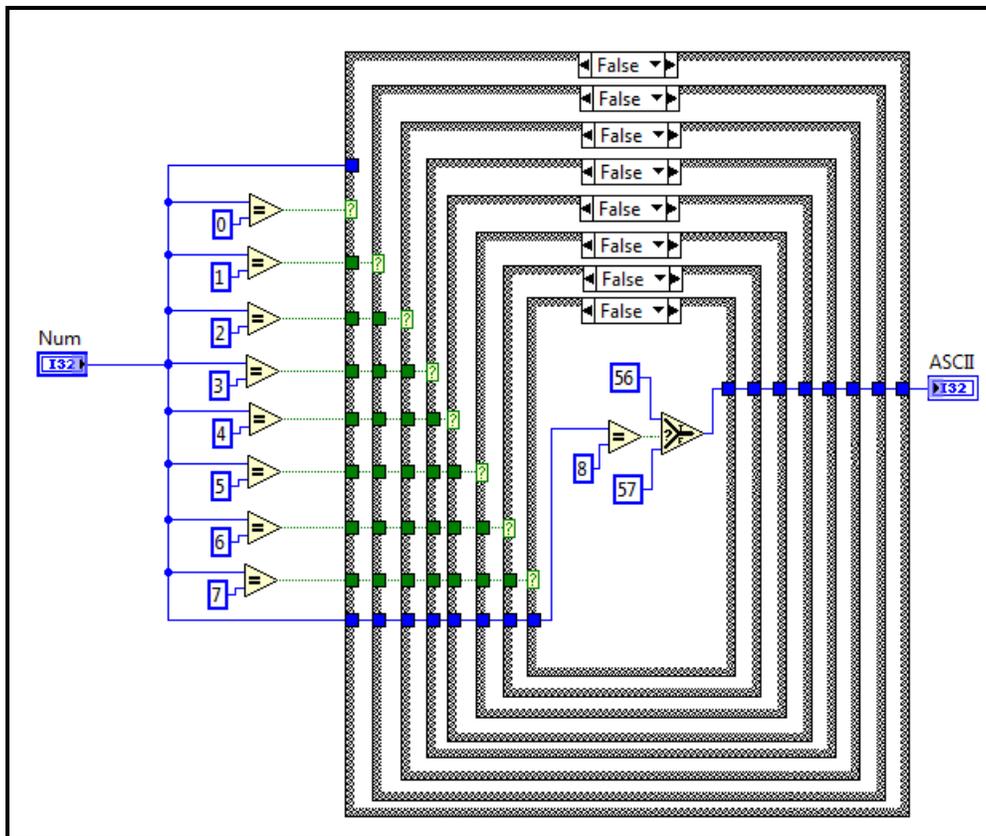


Figura V.31: Conversor de números a valores de la tabla ASCII.

Fuente: Propia.

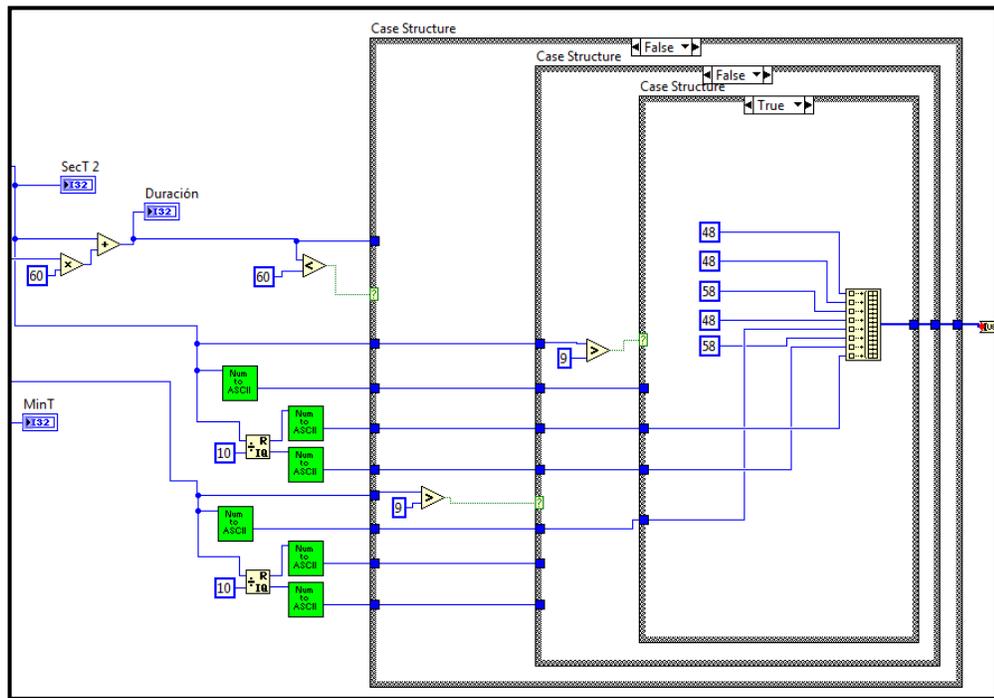


Figura V.32: conversor ASCII y empaquetado a formato horario digital.

Fuente: Propia.

Finalmente se desarrolló un proceso capas de concatenar todos los parámetros recuperados para plasmarlos en la interfaz del usuario de una manera más esquematizada. De la misma manera, este proceso de concatenación conlleva a la última función del sistema receptor, el cual se encarga de almacenar en un documento *.txt* todos los datos recuperados. De esta forma, se genera un registro que contiene los cuatro parámetros planteados inicialmente y se completa el sistema de medición de audiencia (Véase Figura V.33).

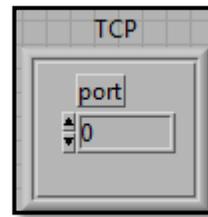


Figura V.34: Control del puerto de enlace TCP.

Fuente Propia.

- Interfaz de visualización de resultados

Es el medio con el cual el operador recibe los registros de las mediciones de audiencia. Consta de dos seleccionadores de dirección de archivo, con los cuales se añade a la aplicación la información necesaria para el registro de los datos en el archivo *.txt* que se seleccione. De la misma manera muestra cinco indicadores de texto. Cuatro de ellos para la presentación individual de cada parámetro y uno llamado “Registro” en donde se muestra la concatenación de los datos.

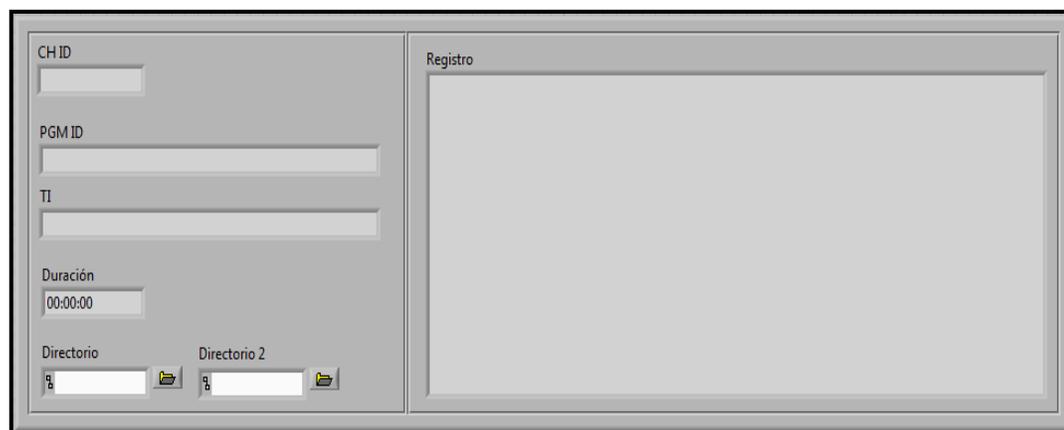


Figura V.35: Interfaz de visualización de datos.

Fuente: Propia.

V.2.4 Simulación y Mejora

Una vez finalizado el proceso de desarrollo de la aplicación, se prosiguió a realizar las tres pruebas descritas en el Capítulo IV.

V.2.4.1 Primera Prueba

Antes de correr la aplicación se realizaron las siguientes configuraciones en el VI Receptor. Vale acotar que estas configuraciones realizadas se repitieron en cada una de las pruebas:

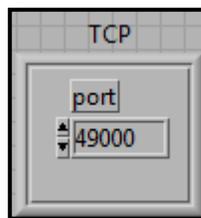


Figura V.36: Asignación del puerto 49000 para el enlace TCP.

Fuente: Propia.

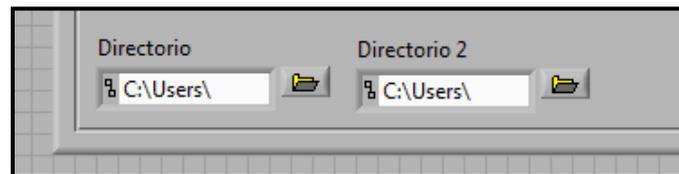


Figura V.37: Asignación del archivo .txt para el almacenamiento del registro de datos.

Fuente: Propia.

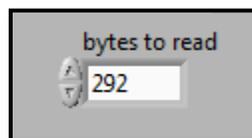


Figura V.38: Configuración del peso de las tramas a enviar.

Fuente: Propia.

Del mismo modo, en el VI Transmisor se realizaron también configuraciones de enlace correspondientes al valor de dirección IP y puerto de destino, los cuales fueron *Localhost* y *49000* respectivamente. Para la designación del puerto local se asignó el *80* (Véase *Figura V.39*).

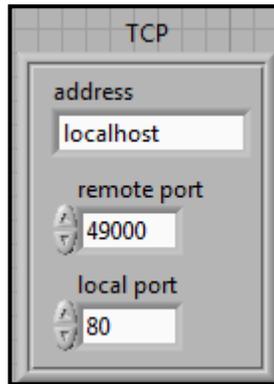


Figura V.39: configuraciones de enlace.

Fuente: Propia.

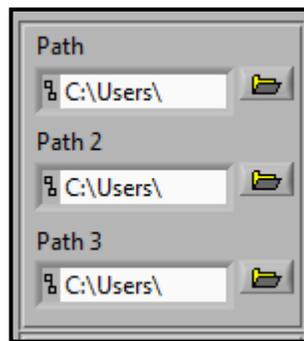


Figura V.40: Asignación de archivos utilizados como programación de los canales.

Fuente: Propia.

El siguiente paso constituyo la corrida de la aplicación en función de estos parámetros. De aquí en adelante se realizaron las siguientes operaciones:

- En primer lugar, se corrió el VI Receptor. Luego se procedió a correr de manera paralela el VI Transmisor. Vale acotar que el programa arrojo el resultado esperado para este punto, ya que además de no arrojar ningún error, no podía realizarse ninguna operación a menos que se probara pisando el botón de encendido.
- En el momento en el que se presiona el botón de encendido, todos los procedimientos se comienzan a dar en la manera estipulada, sin arrojar errores y activando la comunicación TCP.
- Se activa la reproducción del video y se generan los parámetros a enviar.

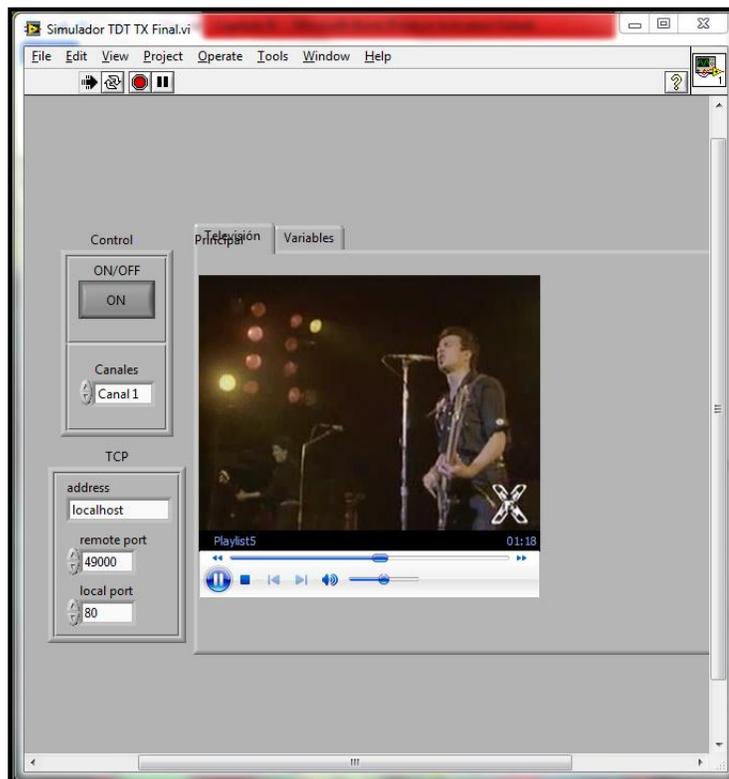


Figura V.41: Video reproduciéndose en la primera simulación.

Fuente: Propia.

- Se comienza el proceso de empaquetado y creación de trama a enviar.
- La señal entra sin percance en el proceso de transmisión y aparece la señal en el lado del receptor
- La trama es desglosada y desempaquetada con éxito.

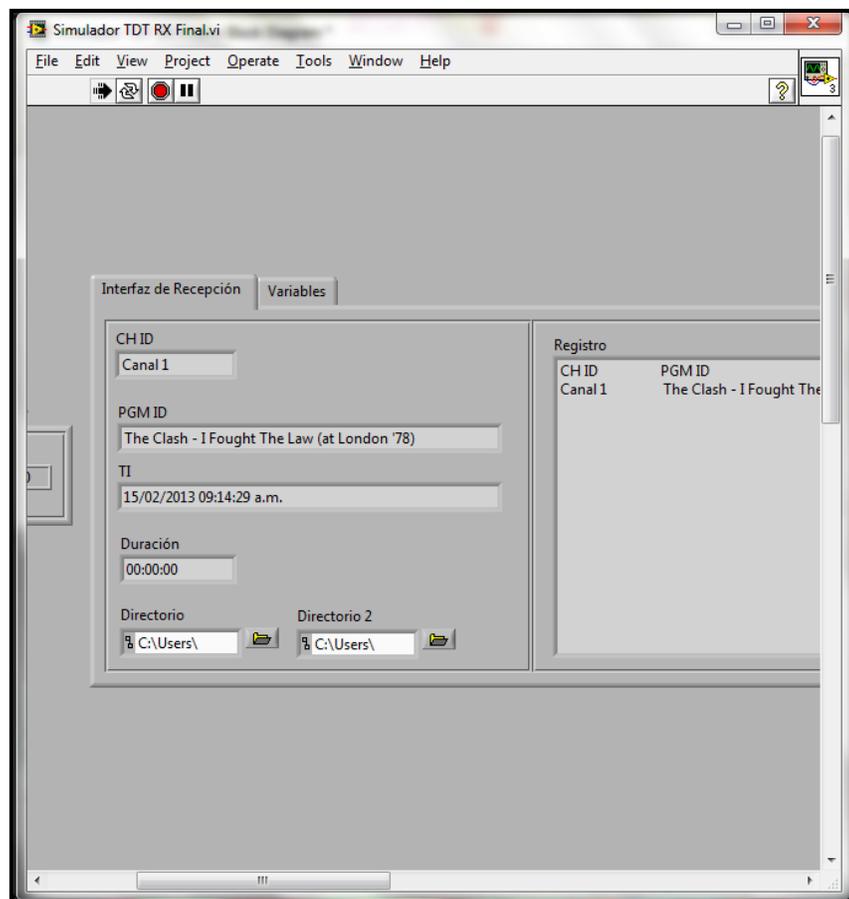


Figura V.42: Recepción de la primera tanda de datos.

Fuente: Propia

- Se cambió el canal para observar el comportamiento del sistema (Véase Figura V.43).

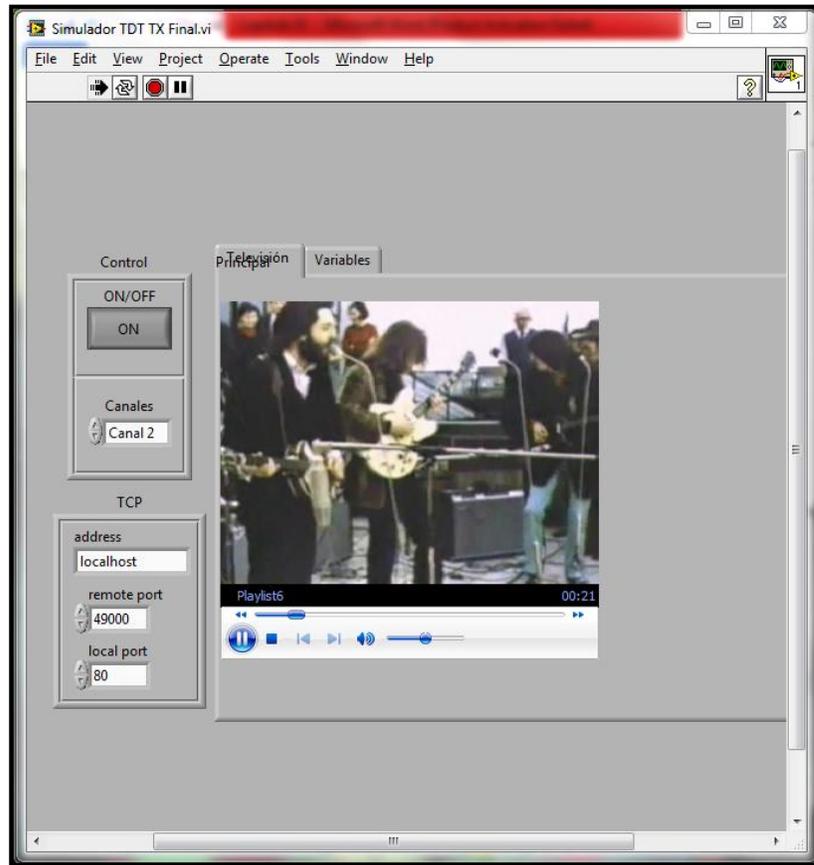


Figura V.43: Cambio de canal y reproducción del contenido.

Fuente: Propia

- Los sistema tuvo el mismo comportamiento, reportando los parámetros en la interfaz de usuario del receptor (Véase Figura V.44).

- Los parámetros referentes a la duración son procesados progresivamente por cada una de las partes que este necesita, hasta salir en el formato horario digital.

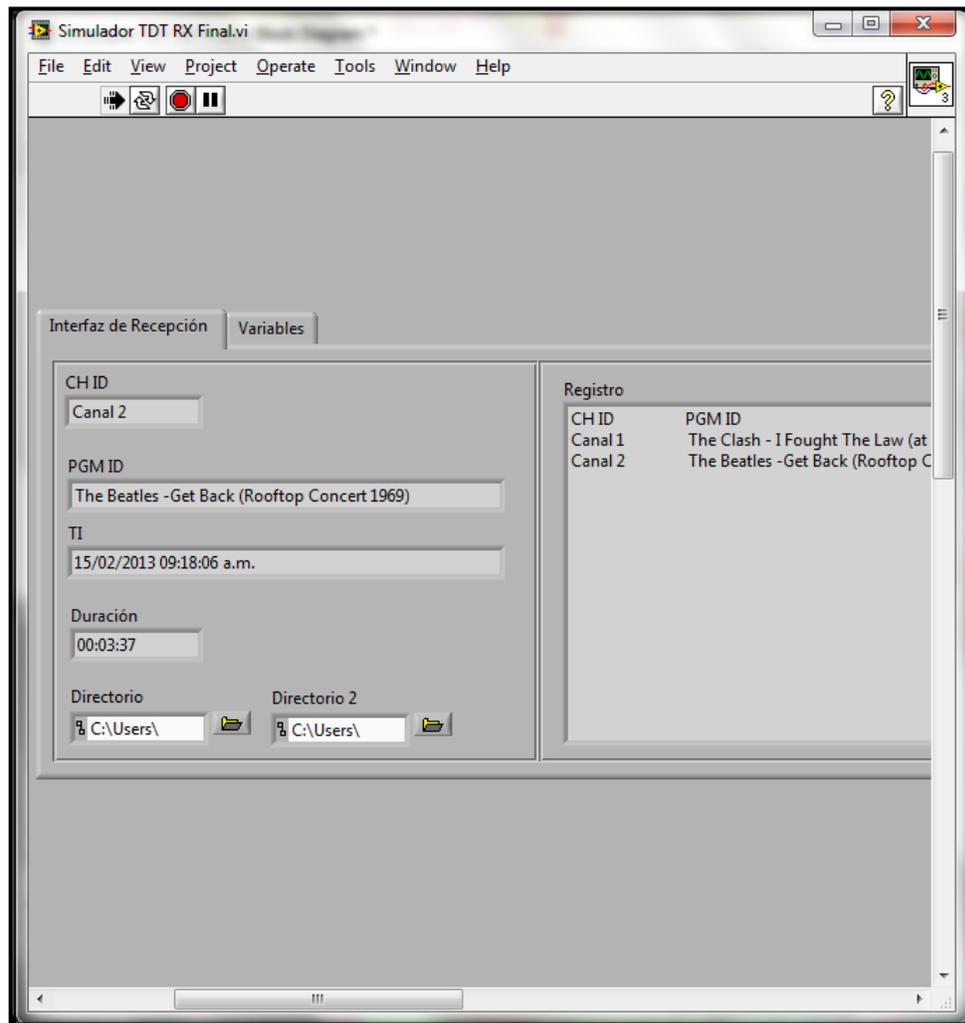


Figura V.44: Recepción de los parámetros enviados por cambio de canal.

Fuente: Propia

- Se cambió nuevamente el canal y se completó exitosamente el mismo procedimiento.

- Finalmente se realizó una prueba con la función de apagado, la cual se completó de forma satisfactoria.

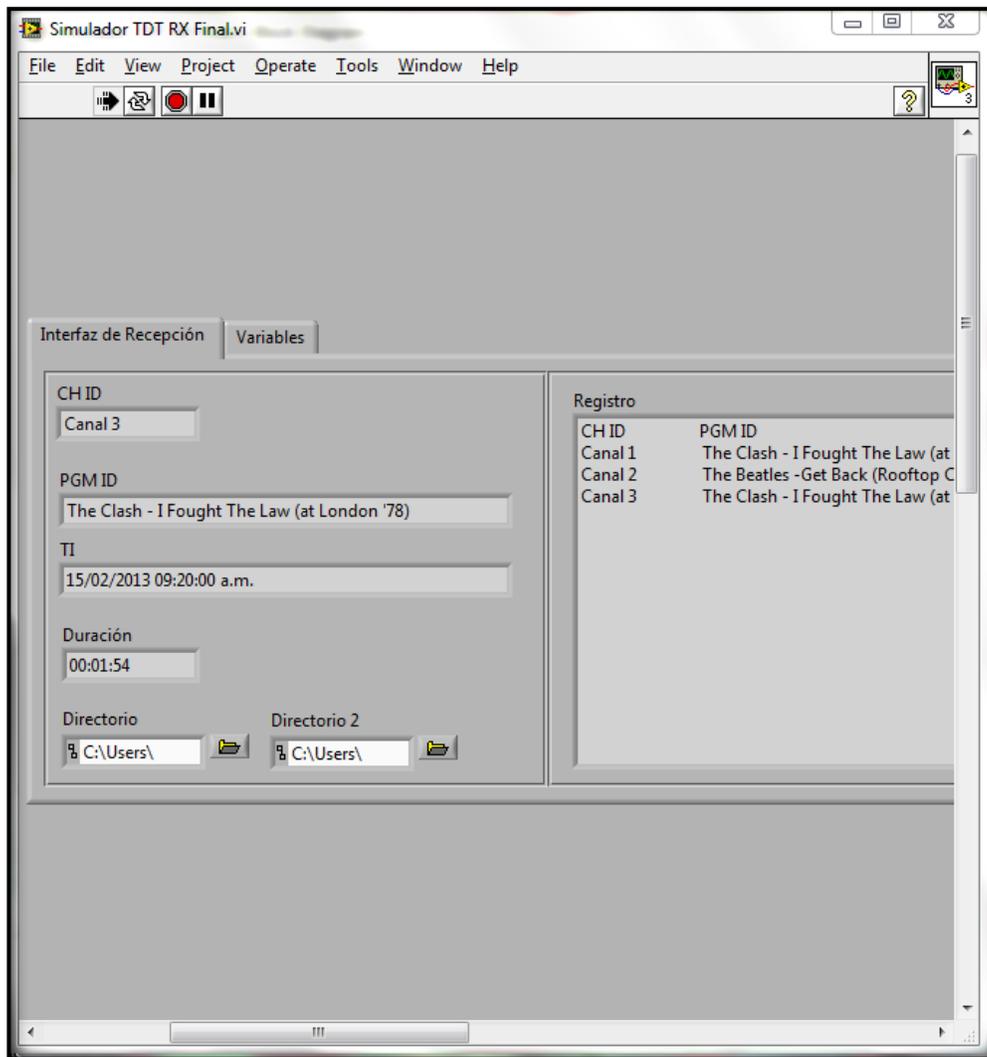


Figura V.45: Tercer registro contabilizado.

Fuente: Propia

- Todos los parámetros son concatenados y almacenados en el archivo .txt. Esta manera concluye la primera prueba realizada.

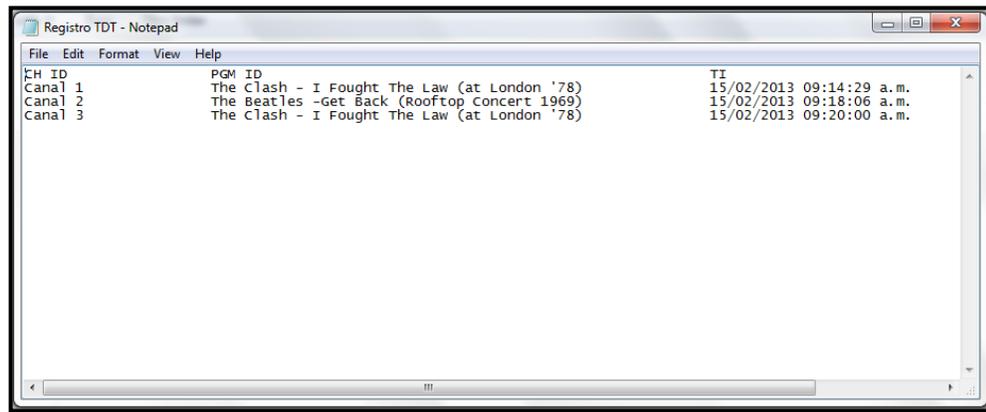


Figura V.46: Registro de datos (.txt)

Fuente: Propia.

De esta manera, se logró comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación desarrollada, descartando problemas de programación y permitiendo central el enfoque al tema de la conectividad. Una vez que corroboramos el correcto desempeño de ambos VI's, podemos avanzar a la segunda fase experimental de simulación en la cual descartamos el uso de cualquier otra tecnología diferente a las estudiadas a lo largo del trabajo especial de grado. Si bien es cierto que nos apoyamos en la tecnología inalámbrica, vale acotar que ha sido con el único fin de comprobar el funcionamiento de la aplicación y en ningún momento se integrara a las siguientes pruebas. Esto, debido a que en los esquemas planteados no se señala el uso de tecnologías inalámbricas.

V.2.4.2 Segunda prueba

Para la consecución de esta prueba se realizaron exactamente las mismas configuraciones de sistema, exceptuando la asignación de IP del destino. Para este caso, recurrimos a la desconexión de la tarjeta inalámbrica y nos dirigimos a buscar las direcciones IP en la consola del sistema de las dos computadoras que se intentarían interconectar. De esta forma se lograron conocer los siguientes valores (*Véase Figura V.48*):

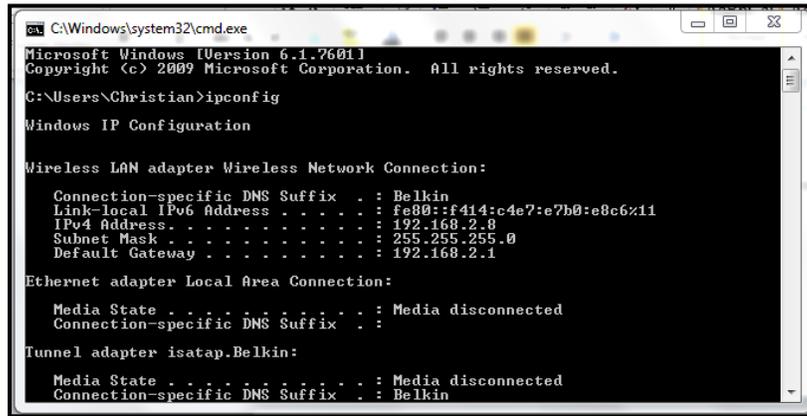


Figura V.47: Verificación de IP en la consola de Windows.

Fuente: Propia.

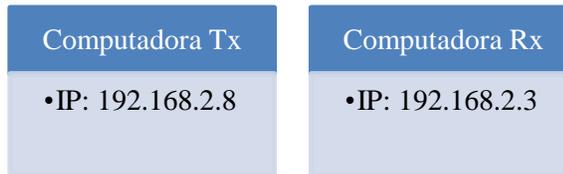


Figura V.48: Direcciones IP de las computadoras involucradas.

Fuente: Propia

- Esta dirección IP del computador Receptor fue ingresado en el control del transmisor (Véase *Figura V.49*).

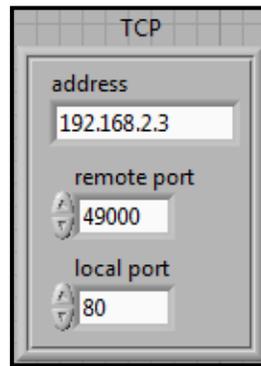


Figura V.49: Asignación de la dirección IP del receptor en el control del transmisor.

Fuente: Propia

- Se procedió a desactivar los firewalls de ambas máquinas para evitar bloqueos de puertos.
- Se conectó el cable UTP de categoría 5E entre las dos computadoras.



Figura V.50: Conexión cableada mediante cable UTP CAT 5E.

Fuente: Propia.

- Se dispuso del VI Transmisor en una computadora y del VI Receptor en otra.
- A partir de este momento, se repitieron exactamente las mismas pruebas que se llevaron a cabo en la sección anterior referentes a la corrida de la aplicación.
- Tras conseguir la recepción de los datos se mostraron en pantalla y se generó el registro en el archivo .txt seleccionado de manera exitosa.

El objetivo de esta segunda prueba fue alcanzado con éxito, ya que fundamentalmente se realizó para descartar errores dados a causa de configuraciones a nivel de red. Con esto se consigue prevenir asignaciones de datos incorrectas, bloqueo de puertos por la acción del firewall de la computadora, uso de cables en mal estado e interfaces inoperantes. De esta manera, se descartan una serie de problemas y errores que permiten focalizar la atención del estudio a la integración de la tecnología PLC en nuestro sistema de comunicaciones. Es así, como avanzamos a la tercera prueba de simulación.

V.2.4.3 Tercera Prueba

Para la realización de esta prueba se tomaron los dos cables UTP de categoría 5E y los equipos CPE descritos en el Capítulo IV. El proceso de conexión se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se conectó un CPE a un tomacorriente. La luz de actividad eléctrica encendió (Véase Figura V.51).



Figura V.51: Conexión del CPE al tomacorriente.

Fuente: Propia.

- Se conectó al CPE, un cable UTP CAT 5E. El otro extremo del cable se conectó al puerto Ethernet (RJ-45) de la computadora que contiene la aplicación transmisora.
- Se conectó el CPE restante en otro tomacorriente. El led de conexión encendió, lo cual indica que el puente PLC está activo.(Véase Figura V.52)



Figura V.52: Conexión del Cable UTP CAT 5E al CPE.

Fuente: Propia.

- Este CPE fue conectado a la computadora que maneja la aplicación receptora mediante otro cable UTP CAT 5E.
- Se procedió a verificar las configuraciones necesarias para establecer el enlace TCP. Al verificar en la consola de Windows, nos percatamos de que la dirección IP de la máquina receptora mantenía la siguiente dirección IP: 169.254.86.230.
- Se agregó dicha dirección a las configuraciones de conexión TCP y procedió a correr los VI's Receptor y Transmisor, realizando el mismo procedimiento base (correr en primer lugar el receptor, encender el transmisor, encender el televisor, cambiar canales y apagar el televisor).

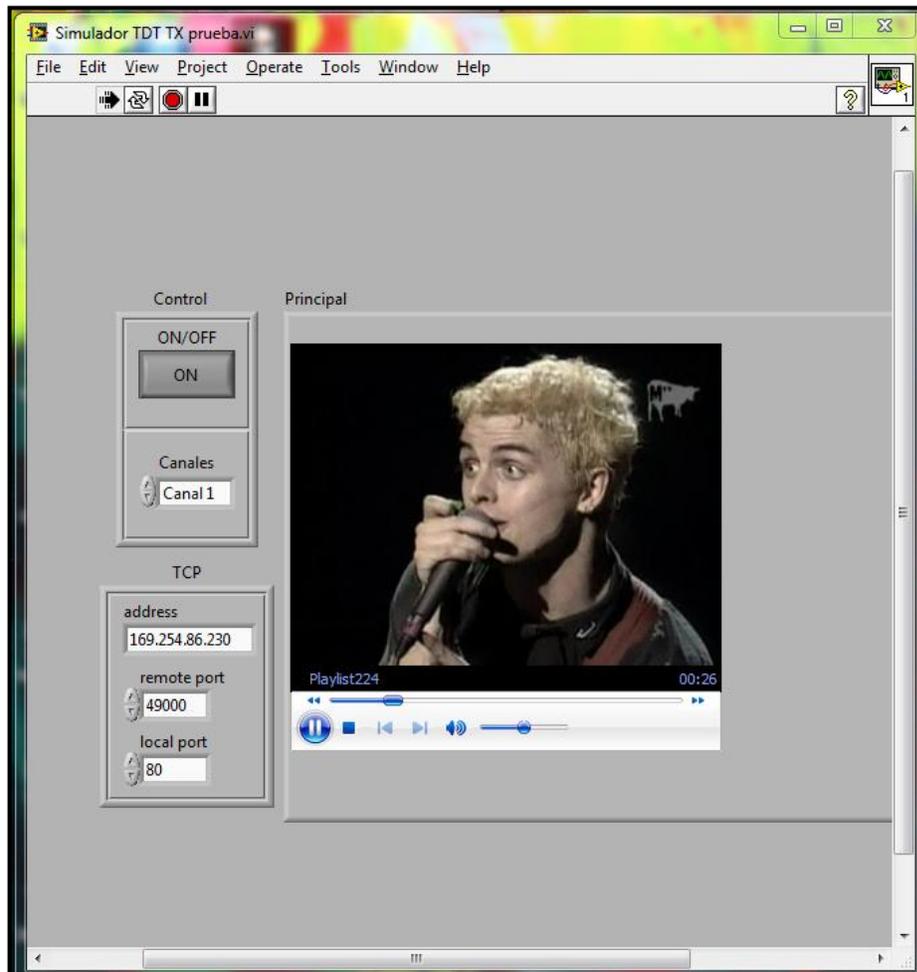


Figura V.53: Corrida del sistema Transmisor.

Fuente: Propia.

- Al momento en el que se realiza la petición de conexión TCP, enciende el tercer led del CPE, indicando una transferencia de datos por la interfaz Ethernet exitosa (Véase Figura V.54).



Figura V.54: Activación total del CPE.

Fuente: propia.

- Ambos equipos encienden sus 3 luces, indicando que se está llevando a cabo la comunicación pertinente. No existen rastros de errores en la corrida de ninguno de los VI's.
- Tras recibir exitosamente los datos correspondientes al primer canal sintonizado, se procedió a cambiar de canal 3 veces más. Todos los cambios se realizaron con éxito, empaquetando, transmitiendo, desempaquetando y mostrando en pantalla todos los parámetros requeridos.
- Apagamos el televisor para corroborar el cálculo de duración del último programa sintonizado.
- Por último, procedimos a abrir el archivo de registro para corroborar el almacenado de los datos mediante esta última prueba (Véase Figura V.56)

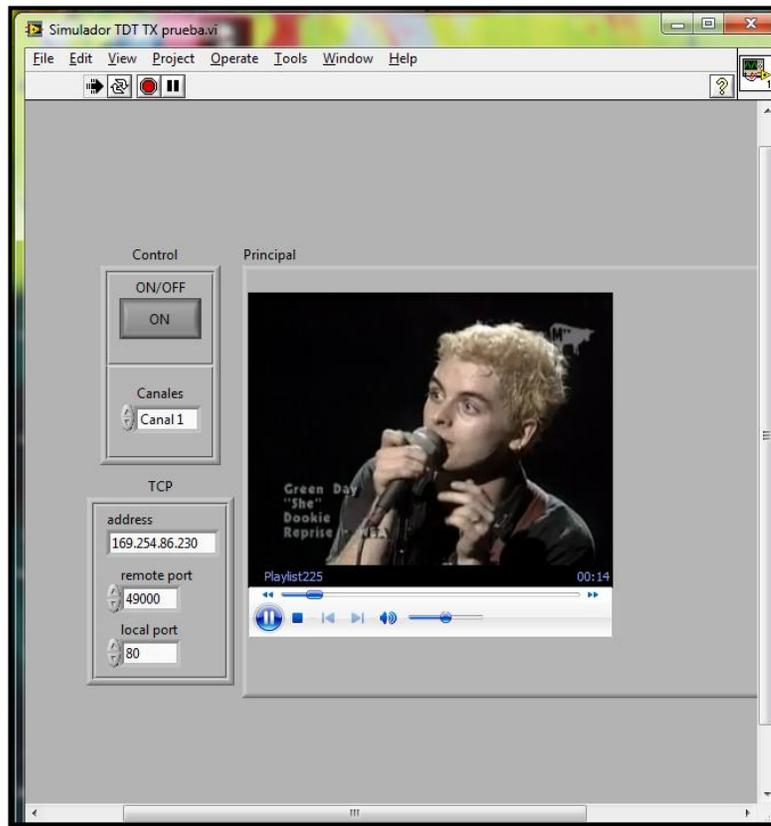


Figura V.55: Reproducción del Canal 1 por segunda vez en la misma prueba.

Fuente: Propia.

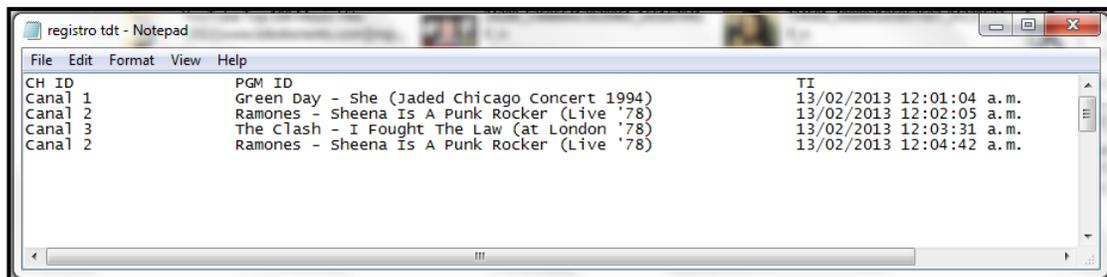


Figura V.56: Registro de sintonización de la tercera prueba.

Fuente: Propia

Con la realización de esta prueba se buscó integrar la tecnología PLC al sistema de comunicaciones construido con anterioridad, lo cual se consiguió de manera exitosa.

V.2.4.4 Factibilidad de mejora del sistema

Tras concluir la fase de simulación del sistema propuesto, podemos agregar una serie de ideas que potenciarían el alcance de las pruebas a realizar. En primer lugar, se podrían realizar mejoras en cuanto a la aplicación se refiere. Estas mejoras podrían ser del tipo lógico, en donde se encuentran alternativas de programación que permiten aligerar la complejidad de su estructura.

Una forma de mejorar la arquitectura lógica de la aplicación se basa en el uso de referencias numéricas para cada uno de los parámetros que se requieran conocer. Se podría construir una tabla o estructura lógica que contenga la información de programación por fecha y hora de cada canal a estudiar, asignándole a cada programación una referencia numérica única. Esta tabla se debe incluir tanto en el transmisor como en el receptor, de manera tal que el transmisor sea capaz de realizar una codificación sencilla de los parámetros que se deseen conocer, simplificando el esquema de la trama de datos a enviar. Esto, gracias a que se podría diseñar una trama que no maneje sub-arreglos en su contenido. La simplificación del empaquetado influye directamente en el proceso inverso, restando complejidad a los procesos inherentes de desempaqueado.

Al contar con la tabla antes diseñada en el receptor, se pueden realizar procesos comparativos que sean capaces de traducir las referencias numéricas recibidas en los parámetros que se deseen conocer. De esta forma, podemos aprovechar los valores

recibidos referentes a la fecha y hora para hallar la programación sintonizada, como también podríamos inferirlo por comparaciones hechas directamente en esta tabla.

Por otro lado, se podría incrementar el alcance de estas simulaciones, experimentando en función de la distancia del tendido de red eléctrica comprendida entre los CPE involucrados en la comunicación. Además de esto, se podrían realizar estas pruebas en diferentes lugares a fines de generar una tabla de resultados que permita inferir momentos de quiebre en la comunicación. De esta manera se podrían datos sobre las distancias y condiciones en las cuales la comunicación puede ser llevada a cabo.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

Los estudios previos a la proposición de cualquier solución tecnológica, sin duda representan una fase fundamental en cualquier área. Realizar un proceso de fundamentación teórica permite delimitar los alcances de cualquier proyecto. Sin embargo, resulta de suma importancia que el estudio abarque tópicos referentes al propio entorno en el cual se pretenda trabajar, ya que existen características extrínsecas a las tecnologías que pueden potenciar o debilitar el sentido de la aplicación del proyecto. Tal es el caso del presente trabajo especial de grado, en el cual, tras estudiar, evaluar y analizar el uso de la tecnología PLC como canal de retorno para los servicios que ofrece la TDT, se corrobora la necesidad de estudios en tópicos sociales, políticos y de mercado, más allá de los estudios del punto de vista técnico y económico. Esto, porque la sumatoria de las condiciones actuales en cada uno de estos puntos, puede acabar determinando el futuro del proyecto. De esta manera, el proceso de recolección de fuentes teóricas y prácticas en cada una de las tecnologías que integraron este trabajo, fueron fundamentales para la completa consecución de los primeros tres objetivos específicos planteados.

El manejo de toda la información anteriormente recabada, converge en la evaluación de la aplicabilidad de la tecnología PLC como canal de retorno en los servicios de Televisión Digital Terrestre, a lo cual se puede responder dependiendo el tópico al que se refiera. En cuanto al tema económico y de mercado se refiere, se deben tomar en cuenta las ganancias generables a partir de la implementación de un canal de retorno, así como el gasto necesario en la preparación y manutención del medio eléctrico. Estas ganancias representan una variable dependiente del tipo de aplicaciones que se deseen llevar a cabo, posibilitando su incremento constante.

Del punto de vista social, existen ciertas dudas sobre el alcance que se pueda conseguir ya que la idea de manejar un equipo que este en contacto directo con la electricidad podría generar algún efecto negativo en el desempeño comercial y de

mercado. Es por esto que se recomienda que las instalaciones referentes a cualquier equipo PLC perteneciente a los sistemas de distribución y *Outdoor*, se realice por parte de algún ente externo al usuario. Sin embargo, las ventajas y facilidades que esta tecnología presenta a nivel *Indoor* resulta verdaderamente un punto a favor debido a su facilidad de uso.

En materia política, es necesaria la integración de todos los sectores que puedan aportar al desarrollo de cualquier tecnología. El caso más crítico lo representa la TDT, la cual puede representar un tema de gran auge investigativo en empresas y universidades que convergerían en la potenciación de su planificación, implementación y desarrollo. El hecho de no contar con información actualizada sobre los avances y pruebas que están llevándose a cabo en el país, dificulta el aporte que puede ser generado por cualquier ente externo al estado.

Del punto de vista técnico, siempre y cuando las líneas eléctricas se mantengan en buenos estados la implementación de esta tecnología es perfectamente viable. El tema se complica para los sectores más populares del país, en donde el tendido eléctrico no se encuentra bajo ningún tipo de estándar o condiciones que permitan la operatividad de sistemas de transmisión de datos a través de él. Se cuenta también con una masa profesional completamente capaz de llevar a cabo la implementación en todos sus ámbitos, lo cual afianza las posibilidades de uso. El problema que se presenta a nivel tecnológico es externo a la tecnología PLC como tal.

Dada la constante emergencia de nuevas tecnologías en el campo de transmisión de datos, resulta determinante el tiempo que toma definir las tecnologías que se requieran integrar a algún proyecto y su posterior planificación de implementación. Si bien es cierto que alguna tecnología resulta innovadora y con grandes ventajas, solo es cuestión de tiempo para que sea desplazada por otra, y más aún en nuestros tiempos, cuando el desarrollo tecnológico se da tan rápidamente.

Cualquier tecnología integrada en un proyecto que tome mucho tiempo de planificación (más de un año, por ejemplo), puede resultar obsoleto al momento de su aplicación. El hecho de que la implementación de una tecnología requiera un largo periodo de planificación e implementación en el área tecnológica, mantiene un gran riesgo. Este es el caso de la implementación de PLC como canal de retorno para la Televisión Digital Terrestre, ya que solo el proceso de planificación, y acondicionamiento del medio tomaría un tiempo considerable, y ya hoy en día existe una serie de tecnologías que no dependen de la organización de entes estatales y que pueden ser utilizadas en la implementación de un canal de retorno, como lo son las tecnologías celulares: 3G, 4G y próximamente LTE. Esto infiere un punto de estudio que se puede tomar a partir de la realización de este trabajo especial de grado.

La aplicación desarrollada para las mediciones de audiencia, entregando parámetros referentes a los manejados en servicios de Televisión Digital Terrestre, ejemplificó un sistema interesante a ser implementado como un servicio más del canal de retorno, lo cual se demostró posteriormente a través de las simulaciones. Por su parte, las simulaciones fueron llevadas a cabo exitosamente en su totalidad, lo cual corrobora la viabilidad de integración de la tecnología PLC en un sistema de canal de retorno para la TDT y corresponde a la consecución del cuarto objetivo específico planteado en un principio. Tras examinar la factibilidad de mejoramiento al haber concluido tanto la investigación como los diseños y simulaciones, se propuso un sistema híbrido integrado por varias tecnologías, lo cual resulta más adaptable a las condiciones generales del país y se consiga prestar el servicio de canal de retorno de manera exitosa. Este es el caso del sistema propuesto en este trabajo, el cual integra la tecnología PLC para el tramo de red de última milla, y el uso de la red de fibra óptica para el canal de distribución.

Capítulo VII: Bibliografía

- Agudelo, A., Bernal, P., & Quintero, E. (Diciembre de 2010). Modulación GMSK Para Transmisión de Información a Través de Líneas Eléctricas. Pereira, Colombia. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84920977017>
- Archila, N., & Morales, C. (2011). Prueba Piloto de la Infraestructura PLC Como Solución de Interconexión para Usuarios Residenciales. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/3430>
- Bolívar, H., & Héctor, R. (10 de Noviembre de 2011). Análisis de medios de transmisión y tecnologías como alternativas para el canal de retorno de los servicios interactivos de televisión digital terrestre en Venezuela. Caracas, Venezuela. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/747>
- Calle, L. (2008). Implementación de una Red de Ultima Milla Inalambrica de Transmisión de Daton a Nivel Nacional para Servicios Portadores. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21438/1/D-93762.pdf>
- Galán, J., & González, J. (s.f.). Estudio analítico y evaluación de los efectos entre tecnologías de comunicación inalámbricas. España. Obtenido de http://gitaca.unex.es/cubicuo/iwireless/Resumen_PFC.pdf
- Guilbout, J., & García, C. (s.f.). Comportamiento de la Tcnología PLC en la Red Eléctrica. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10915/21596>
- Holguin, H. (2010).

Jara, C. (27 de Noviembre de 2006). Aplicación de la Tecnología PLC en la provincia de Azuay. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/203?mode=full>

Mantilla, G., & Oña, A. (2009). *www.bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 05 de Mayo de 2012, de *bibdigital*: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1642/1/CD-2291.pdf>

Minchala, L. (20 de Noviembre de 2006). Estudio de la Tecnología PLC: Comunicaciones por las Lineas de Poder. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/215>

Parra, R. (4 de Julio de 2012). Diseño de un Sistema de Transmisión de Televisión Digital Terrestre Configurado como una Red de Frecuencia Única, Utilizando el Estandar DVB-T para Cubrir la Ciudad de Caracas, Distrito Capital. Caracas, Venezuela. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/1455>

Perdrix, F., & Lorés, J. (2002). Uso de escenarios en el diseño de sistemas de television interactiva en el ambito local. Lleida, España. Obtenido de <http://griho2.udl.es/castella/equip/invest/perdrix.html>

Quizhpi, D., & Ruiz, J. (20 de Junio de 2007). Estudio para la automatización de la lectura, corte y reconexión de la energía eléctrica mediante tecnología PLC (Power line communication), caso de análisis: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/179>

Rivera, A. (2008). Investigación y Análisis de la Tecnología PLC, Dese la Perspectiva Del Mercado Ecuatoriano. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/539>

Rivero, G. (Abril de 2008). Nuevo Canal de Transmision para Redes LAN Utilizando PLC (Power Line Communications). Mérida, Venezuela. Obtenido de http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_busca/archivo.php?codArchivo=1342

Sotomayor, P. (2009). Análisis de los estandares de televisión digital terrestre (TDT) y pruebas de campo utilizando los equipos de comprobación tecnica de la superintendencia de Telecomunicaciones. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>

Glosario

AAC: Advanced Audio Coding; es un formato de señal digital audio basado en un algoritmo de compresión con pérdida para obtener el mayor grado de compresión posible resultando un archivo de salida que suena lo más parecido al original.

AC-3: Versión de Dolby Digital para la serie de tecnologías de compresión de audio que contiene hasta un total de 6 canales de sonido con 5 canales de ancho de banda de 20KHz.

ADC: Conversor Analógico-Digital.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line; tecnología de acceso a internet de banda ancha apoyada en el par de cobre que lleva la línea telefónica convencional.

AOO: Componentes de Audio-Objetos.

API: Application Programming Interface.

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses.

ASK: Amplitude Shift Keying; forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.

ATSC: Advance Television System Committee.

AVS: Audio Video Standard.

BPL: Broadband Over Power Line.

BPSK: Modulación por desplazamiento de fase binario que consiste en hacer variar la fase la portadora entre un numero de valores discretos.

BST-OFDM: Band Segment Transmission OFDM.

BT: Baja Tensión.

C: Capacitancia.

CMMB: China Multimedia Movil Broadacasting.

CNTI: Centro Nacional de Tecnologías de Información.

COFDM: Coded Orthogonal Frecuency Division Multiplexing.

CPE: Customer Premises Equipment.

CPU: Central Processing Unit o Unidad Central de Procesamiento, es el componente principal de un ordenador u otros dispositivos programables.

DAC: Digital-Analogic Converter; Conversor Digital-Analógico.

DASE: DTV Application Software Environment

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol; es un protocolo de red que permite a los clientes de una red obtener sus parámetros de configuración automáticamente.

DiGEB: Digital Broadcasting Experts Group

DMBT: Digital Terrestrial Multimedia Broadcast

DPL: Digital Power Line

DQPSK:

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum o Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.

DVB-H: Digital Video Broadcasting Handheld; es una adopción del estándar DVB-T orientado a los terminales móviles.

DVB-RCT: Digital Video Broadcasting- Return Channel Terrestrial; es un Sistema estandarizado que permite la interactividad de los usuarios por un canal de retorno con la televisión digital terrestre del estandar DVB-T.

DVB-T: Digital Video Broadcasting – Terrestrial o Difusión de Video Digital Terrestre.

EPG: Guía Electrónica de Programación

ETSI: European Telecommunications Standard Institute

Fast-Ethernet: Ethernet de alta velocidad, es el nombre de una serie de estándares de redes Ethernet de 100Mbps.

FCC: Federal Communications Commission

FFT: Fast Fourier Transform

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

FSK: Frecuency Shift Keying

G: Conductancia

Gigabit-Ethernet: es una ampliación del estándar Ethernet que consigue una capacidad de transmisión de 1 Gigabit por segundo

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying; es un tipo de modulación derivado de la modulación MSK.

GPRS: General Packet Radio Service o Servicio General de Paquetes vía Radio; transmite datos mediante la conmutación de paquetes con velocidades de transferencia de 56 a 144Kbps.

HDTV: High Definition Television o Television de Alta Definición; es un formato que emite señales televisivas en una calidad digital superior a los sistemas tradicionales analógicos de televisión en color.

HE: Head End

HG: Home Gateway

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IFFT: Inverse Fourier Fast Transform o Transformada Rápida de Fourier.

IPTV: Internet Protocol Television; es un Sistema de distribución por suscripción de señales de televisión o video usando conexiones sobre el protocolo IP.

IR: Intermediate Repeater.

ISDBT: Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial.

ISDB-Tb: Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial-Brasilero

ISP: Internet Service Provider o Proveedor de Servicios de Internet.

L: Inductancia

LAN: Local Area Network o Red de Area Local; es una interconexión de una o varias computadoras o periféricos, su extensión está limitada a un entorno de 200 metros, con repetidores podría llegar a la distancia de un campo de 1Km.

LMDS: Local Multipoint Distribution Service o Sistema de Distribución Local Multipunto; es una tecnología de conexión vía radio inalámbrica que permite el despliegue de servicios fijos de voz, internet y video.

MFN: Multiple Frequency Network o Redes Multi-frecuencia.

MHP: Multimedia Home Platform

MPEG: Moving Picture Experts Group

MPEG-2: estándar acordado por MPEG para la codificación de audio y video para señales de transmisión que incluyen televisión digital Terrestre, por cable o satélite

MPEG-4: método para la compresión digital de audio y video similar a MPEG-2 añadiendo soporte para 3D, interactividad y archivos compuestos orientados a objetos.

MSK: Minimum Shift Keying

MT: Media Tensión

NRZ: Codificación digital polar sin retorno a cero

NTSC: National Television System Committee

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OSI: Open System Interconnection o Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.

PES: Packet Elementary Stream

PLC: Power Line Communications

PSK: Phase Shift Keying; es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase la portadora entre un numero de valores discretos.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation. Técnica de modulación que transporta datos mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase. Tiene como entrada flujos de datos binarios, para generar N estados de modulación (N= 8, 16, 64, 256)

QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying es una variante de PSK representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas.

R: Resistencia

REP: Repeater

RF: Radiofrecuencia

RJ11: conector usado para enlazar redes de telefonía, es de medidas reducidas y tiene cuatro contactos para soportar cuatro vías de dos cables.

RJ45: es una interfaz física usada para conectar redes de cableado estructurado. Posee ocho pines o conexiones eléctricas que generalmente se usan como extremos de cable de par trenzado.

SBTVD: Sistema Brasileño de Televisión Digital

SDTV: Standard Definition Television; son señales de televisión que no se pueden considerar señales de alta definición.

SFN: Redes de Frecuencia Única.

SMS: Short Message Service o Servicio de Mensajes Cortos.

SNMP: Simple Network Management Protocol o Protocolo Simple de Administracion de Red; facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

STB: Set top box

TDS-OFDM: Time Domain Synchronous – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

TDT: Televisión Digital Terrestre.

TPE: Transformer Premises Equipment.

TS: Transport Stream.

TV: Televisión.

TV-PC: El televisor visto en un terminal multimedia que podrá admitir datos provenientes de los servicios de telecomunicaciones (Internet, correo electrono, guía de programa, etc.)

UHF: Ultra High Frequency.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

V.90: estándar de la UIT bajo el cual se unieron todos los fabricantes de módems del mercado para garantizar la compatibilidad a grandes velocidades.

VHF: Very High Frequency; banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30MHz a 300MHz.

VLAN: acrónimo de Virtual LAN; método para crear redes lógicamente independientes dentro de una misma red física.

VOC: Componentes de Video-Objetos

VSF: Vestigial Side Band; Modulación de banda lateral vestigial que filtra una de las dos bandas laterales resultantes de una modulación en doble banda lateral o una modulación de amplitud.

WIFI: Wireless Ethernet Compatibility Alliance; es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica.

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access o Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas; es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio de 2,3 a 3,5 GHz con cobertura de hasta 60Km.

xDSL: x Digital Subscriber Line, tecnología que soporta un gran ancho de banda y que trabaja sobre la red telefónica ya existente con capacidad para acomodar al mismo tiempo voz y datos y la posibilidad de aprovechar la infraestructura ya existente de telecomunicaciones

Capítulo VIII: Anexo “A”: Despliegue de PLC en el Mundo

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
EUROPA		
Alemania	RWE	PLC en Acceso e In-Home: Servicios de Internet
	EnBW-Tensión	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet (hoteles y escuelas)
	MW	PLC en Acceso: Servicios de Internet para segmento residencial
	Elcon	-
	EichhoffOnline AG	-
	Polytrax Powertec	Internet y otros servicios a través de su sistema con tecnología Main.net y ASCOM
Francia	Electricité de France (EDF) France Telecom	Dispone de un servicio de Internet denominado "e - lectric". PLC en Acceso: Servicios minoristas de Internet
Italia	ENEL	PLC en Acceso: Servicios minorista de Internet y telefonía. Posee tecnología M@in.net y ASCOM, DS2 para los servicios de Internet y telecomunicaciones.
Dinamarca	NESA.	-
Suiza	EFF Evicom Sydkraft	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con ISP Sunrise) usando tecnología Ginebra Ascom, con Equipos PLC de 2da Generación.
Suecia	Vattenfall	PLC en Acceso: Servicios de Internet para segmento residencial usando tecnología Gotland, Main.net
Austria	Linz Strom AG	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet y telefonía
	Tiwag	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet (residencial, hoteles y escuelas)
Portugal	EDP	PLC en Acceso: Servicios minoristas de Internet y telefonía
Holanda	Nuon	PLC en Acceso: Servicios mayoristas de Internet (acuerdo con Disgstrom)
Inglaterra	Scottish Southern Electric (SSE)	SSE entrega sus servicios a las ciudades de Winchester, Stonehaven, Campbeltown and Crieff, llegando a 20,000 residencias.
Rumania	Eléctrica Cinergy	-
España	Iberdrola/NAMS	PLC en Acceso : Servicios mayoristas de Internet
	Unión FENOSA	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
	Endesa.	PLC en Acceso: Servicios mayoristas de Internet y telefonía (acuerdo AUNA). Usando equipos DS2
Rusia	Energomegasbit	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
Hungria	ELMU/ Novaco	Pruebas piloto en la ciudad de Budapest

Figura VIII.1: Despliegue De La Tecnología PLC en Europa.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009)

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
ASIA		
Israel	NAMS	-
Corea	Plcom y Xeline	Ha implementado un red PLC de prueba de aproximadamente 5 Km. en Chunggae, ciudad ubicada cerca de Seúl.
Japón	-	- El equipo implementado debía estar diseñado para reducir la radiación electromagnética originada por las líneas eléctricas. - Las empresas deben evitar interferencias, en caso de que se dieran deben suspender el servicio.
Malasia	Fibrecomm.	Utiliza DS2, para la implementación de redes PLC de Acceso y Domestica
Singapore	Singapore Power	Descendiente de la compañía SPTelecom ha finalizado su plan piloto y ha comenzado a comercializar el PLC. Durante las pruebas realizadas se utilizó equipo ASCOM, sin embargo luego decidieron utilizar DS2 para mayor rendimiento.
China	-	Ha utilizado equipo ASCOM y Xeline llevando el servicio PLC a unos 50-100 usuarios en diferentes provincias del país.
Tasmania	Aurora Energy	Aurora ha adquirido la licencia para desarrollar esta tecnología con amplitud. Australia, evaluando este éxito en Tasmania explora PLC realizando pequeñas Pruebas.
Hong Kong	InovaTech	-

Figura VIII.2: Despliegue De La Tecnología PLC en Asia.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009)

TECNOLOGIA POWERLINE COMMUNICATIONS COMO CANAL DE RETORNO DE
LA TELEVISION DIGITAL TERRESTRE

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
AMERICA		
Estados Unidos	Easyplug Thomson Schneider Electric Intellon Corporation. Cinergy Nortel COMTek Alliant Energy Corporation Current Communications Progress Energy	Se realizaron pruebas piloto con tecnología de proveedores de ASCOM y NORWEB En octubre del 2003, COMTek comienza a brindar PLC comercial a los residentes. El 30 de marzo del 2004, Alliant Energy lanzó un plan piloto PLC en Cedar Rapids, Iowa. Current Communications unida con Cinergy Corp, ofrecen la tecnología PLC a los habitantes de Cincinnati, Ohio y el noreste de Kentucky.
Brasil	COPEL	Servicio PLC que incluye 300 clientes del estado de Paraná, ubicado al sur de Brasil, los cuales tendrán un acceso a Internet con velocidades de hasta 100 Mbps.
México	Comisión Federal de Electricidad CFE/ AXTEL	Uso de la red de energía eléctrica para la transmisión de voz, datos y video. La empresa estadounidense Current Communications se encuentra realizando negociaciones con las prestadoras eléctricas con tal objetivo, y Equipos de la empresa DS2.
Costa Rica	ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
Colombia	-	Se están haciendo estudios de Investigación con la Universidad Nacional de Colombia y su grupo GITUN, y se han realizado pruebas con unos 2000 usuarios.
Ecuador	Transelectric y La Empresa Eléctrica Quito (EEQ)	Acceso a la Web, servicios de voz IP, televisión IP y telefonía, a través de la infraestructura ya existente, La Empresa Eléctrica efectuará un enlace con sus actuales redes de fibra óptica."Esta red enlaza a todas las subestaciones de la empresa, las centrales de generación y los edificios donde están los centros de cómputo y administración". El objetivo de la EEQ es ofrecer el servicio en toda el área de concesión que abarca 15 000 kilómetros cuadrados.
Venezuela	Electricidad de Caracas (EDC)	Pruebas pilotos con PLC para llevar Internet banda ancha desarrollando el piloto en (escuelas, barrios y conjuntos residenciales). Varias zonas del centro-oeste de la ciudad se encuentran cubiertas con el servicio
Argentina	Edenor	En el 2008, las compañías de electricidad y de telecomunicaciones implementarán la tecnología PLC en Argentina, prometiendo rentabilidad de baja inversión.
Chile	Enersis S.A. se unió a Chilectra Metropolitana S.A.	Desde enero del 2002, desarrollan la tecnología PLC en Chile. Emplea un sistema de acceso a Internet mediante satélite y para la distribución de los usuarios usa PLC de 2da Generación.
Perú	Optical IP Luz del Sur	En Perú, iniciaron los planes para brindar PLC, mediante la empresa Optical IP. Optical IP se unió a la empresa Luz del Sur, encargada de la distribución de la electricidad. Este proyecto se ubica en la capital del Perú, Lima.

Figura VIII.3: Despliegue De La Tecnología PLC en América.

Fuente: (Mantilla & Oña, 2009)

Capítulo IX: Anexos “B”: Sintonizadores ISDB-Tb



Figura IX.1: Set Top Box de origen Argentino, Modelo Nova ISDBT-T7102.

Fuente: Propia.

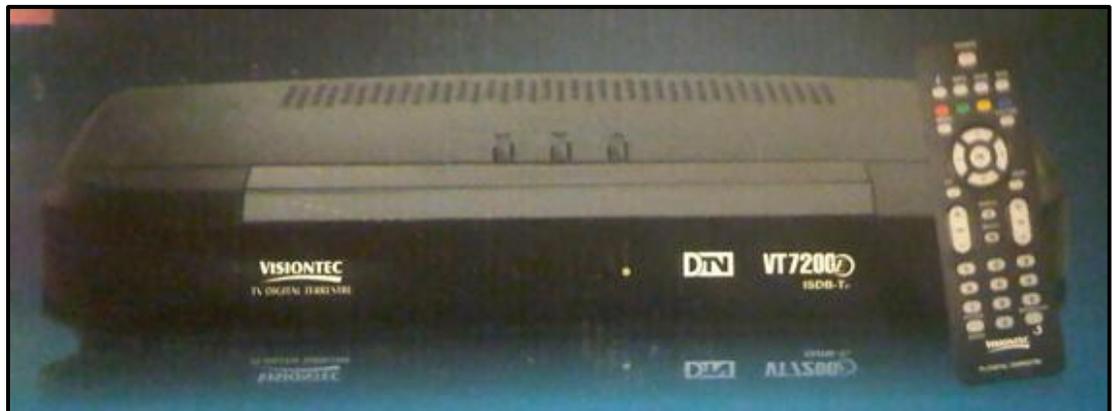


Figura IX.2: Set Top Box de origen Brasileiro, Modelo VT200.

Fuente: Propia.



Figura IX.3: Antena Incluida en los sintonizadores de TV Digital

Fuente: Propia



Figura IX.4: Conectores incluidos en los sintonizadores de TV Digital

Fuente: Propia



Figura IX.5: Control Remoto del sintonizador ISDBT-NOVA 7200 (Argentino).

Fuente: Propia.



Figura IX.6: Búsqueda manual de canales en el sintonizador de TV Digital.

Fuente: Propia



Figura IX.7: Realizando búsqueda manual de canales.

Fuente: Propia



Figura IX.8: Interfaz de conexión a internet de los sintonizadores.

Fuente: Propia

