

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

**"DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO DE DATOS ADSL SOBRE EL
SECTOR RESIDENCIAL DE LA VIA A LA COSTA"**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentada por

Diana Villegas Ramos

José Luis Gavilanes Borrajo

Guayaquil - Ecuador

2006

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Germán Vargas López,
Director de Tesis, por su invaluable
ayuda durante la elaboración del
presente trabajo.

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen María por haberme acompañado y guiado durante toda mi vida. A mis queridos padres, Marlene y Víctor, mis hermanos Lizette y Christopher y mi mami Mary quienes me han dado su amor y apoyo incondicional.

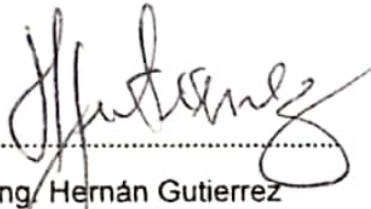
Diana Villegas Ramos

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a aquellas personas que han servido de apoyo incondicional para la realización del mismo. Mis padres, hermanos, primos y amigos. VF02.

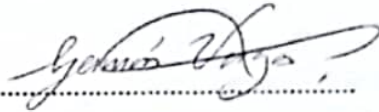
José Luis Gavilanes Borrajo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



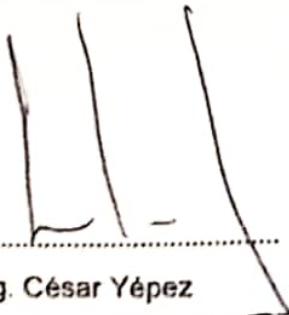
Ing. Hernán Gutiérrez

Sub-Decano de la FIEC (e)



Ing. Germán Vargas López

Director de Tesis



Ing. César Yépez

Tribunal



Ing. Rebeca Estrada

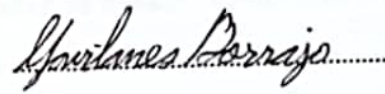
Tribunal

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Diana Villegas Ramos



José Luis Gavilanes Borrajo

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el "Diseño de una Red de Acceso de Datos ADSL Sobre el Sector Residencial de La Vía a la Costa" el cual utiliza la Red de Cobre existente instalada por la empresa que brinda el servicio de telefonía fija en el sector.

Durante el desarrollo de este proyecto nos hemos enfocado en analizar el medio de transmisión empleado por la empresa de telefonía pública. Debido a la poca información detallada sobre la Red de Cobre y la no existencia en el país de un documento oficial por parte de las empresas del sector, hemos optado por desarrollar el proyecto basándonos en el estándar para ADSL y la bibliografía de otros países.

El uso del programa Matlab es vital en las simulaciones del presente trabajo. Basándose en los datos que el mismo estándar de ADSL propone, en temas sobre ruido e interferencias, se ha ingresado en el programa de simulación los modelos matemáticos de las distintas funciones de transferencia de potencia de cada tipo de ruido. Todo esto gracias al tratamiento de funciones simbólicas, además de funciones predefinidas para la presentación gráfica y el manejo sencillo de matrices. Finalmente, esto ha servido para generar un programa útil para el análisis del medio de transmisión utilizado en nuestra Red, que muestra gráficamente el comportamiento del ruido, los bits asignados y la velocidad alcanzada en el par de cobre. Por este análisis se obtuvo que dentro del par de cobre, en el mejor de los casos (en una longitud de 1,2 Km), la transmisión de datos en el canal Downstream puede alcanzar los 7.7 Mbps y en el caso más pesimista (en una longitud de 3,9 Km) puede llegar a los 860 Kbps.

Una vez que se obtuvo los parámetros de diseño de la red de acceso ADSL procedimos a seleccionar los equipos multiplexores usados en ADSL (conocidos como DSLAM), los

modem y enrutadores (para el usuario) y otros adicionales a fin de hallar un estimado de costos para la inversión inicial. En el presente trabajo se verá que una actualización hacia ADSL es posible y viable.

Como todas las demás tecnologías, ADSL también presenta problemas en su implementación. Los mayores problemas del manejo de las instalaciones y el diseño pueden ser sobrellevados si se cumplen con las normas de la industria.

Gracias a los datos del INEC y a resultados de las encuestas publicadas por la SUPTEL, se ha establecido que la población objetivo del sector es de 1600 familias y nuestros clientes al final del primer año se espera que sea de 240 usuarios. Realizando una proyección de los datos en los últimos años (en los Servicios de Valor Agregado) y considerando que el comportamiento en el crecimiento del mercado será geométrico, se ha estimado el número de usuarios que se tendrán en cada año. Finalmente el análisis económico del proyecto nos indica que con una inversión inicial (alrededor de \$100.000,00) es posible poner en marcha, para una empresa de telefonía tradicional, un proyecto de servicio de datos de buena calidad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
DEDICATORIA	IV
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL	IX
ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
INTRODUCCIÓN	XX
CAPITULO 1: TECNOLOGIA DE ACCESO ADSL	1
1.1. TECNOLOGÍA XDSL.....	1
1.1.1. <i>Qué es XDSL</i>	2
1.1.2. <i>Clasificación de la familia XDSL</i>	3
1.1.2.1. ADSL.....	3
1.1.2.2. VDSL.....	3
1.1.2.3. HDSL	5
1.1.2.4. SDSL.....	6
1.2. LÍNEA DE ABONADOS DIGITAL ASIMÉTRICA (ADSL)	6
1.2.1. <i>Introducción</i>	6
1.2.2. <i>Arquitectura y Estructura de una red ADSL</i>	8
1.2.2.1. Arquitectura de Red	8
1.2.2.2. Estructura de Red	10
1.2.2.2.1. Modelo de Referencia de Red de Acceso ADSL	10
1.2.3. <i>Clases de ADSL</i>	14
1.2.4. <i>Esquemas de Modulación</i>	16
1.2.4.1. Modulación QAM.....	19
1.2.4.2. Modulación CAP	19
1.2.4.3. Modulación DMT	21
CAPITULO 2: ANÁLISIS DEL BUCLE DE ABONADO	26

2.1.	PLANTA EXTERNA DE LA CENTRAL TELEFÓNICA	26
2.1.1.	<i>Estructura</i>	26
2.1.1.1.	Central Telefónica	27
2.1.1.2.	Puntos de Verificación de la Planta Externa (MDF)	27
2.1.1.3.	Segmento de Red Primaria	28
2.1.1.4.	Armarios.....	29
2.1.1.5.	Segmento de Red Secundaria	31
2.1.1.6.	Segmento de Dispersión	32
2.1.2.	<i>Condiciones no deseables en Planta Externa</i>	33
2.1.2.1.	Bridged Taps.....	33
2.1.2.2.	Bobinas de Pupinización.....	33
2.2.	ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	34
2.2.1.	<i>Atenuación</i>	34
2.2.2.	<i>Ruido Blanco Gaussiano (RBG)</i>	42
2.2.3.	<i>Interferencia (Crosstalk)</i>	45
2.2.3.1.	Near-End Crosstalk (NEXT).....	49
2.2.3.2.	Far-End Crosstalk (FEXT).....	52
2.2.4.	<i>Ecos y Reflexiones</i>	59
2.3.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL CANAL.....	63
2.3.1.	<i>Capacidad Teórica del Canal</i>	63
2.3.1.1.	Capacidad del Canal Downstream.....	65
2.3.1.2.	Capacidad del Canal Upstream	72
2.3.2.	<i>Capacidad Real del Canal</i>	75
2.3.2.1.	Capacidad del Canal Downstream.....	77
2.3.2.2.	Capacidad del Canal Upstream	81
CAPITULO 3: DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA, TIPOS DE SERVICIO		
ADSL, Y EQUIPOS A UTILIZAR EN LA RED		
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	85
3.2.	DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA PARA EL SERVICIO ADSL	85
3.2.1.	<i>Área de Cobertura del Servicio Telefónico Actual para la Central de Puerto Azul</i>	85
3.2.2.	<i>Área de Cobertura Inicial del Servicio ADSL para la Central de Puerto Azul</i>	86
3.3.	DETERMINACIÓN DE TIPOS DE SERVICIO ADSL A OFRECER	89
3.3.1.	<i>ADSL Estándar</i>	90
3.3.2.	<i>ADSL Class</i>	90
3.3.3.	<i>ADSL Premium</i>	90
3.4.	EQUIPOS A UTILIZAR EN LA RED ADSL	91
3.4.1.	<i>Equipos ubicados en la Central Telefónica</i>	91

3.4.1.1.	Splitter.....	91
3.4.1.2.	ATU-C.....	91
3.4.1.3.	Configuración ATU-C/Splitter.....	91
3.4.1.4.	Equipos de Medición.....	93
3.4.1.5.	Características del Equipo.....	94
3.4.1.5.1.	DSLAM.....	94
3.4.1.5.2.	Reflectómetro (TDR).....	97
3.4.2.	<i>Equipos ubicados en la casa del abonado.....</i>	98
3.4.2.1.	Splitter.....	98
3.4.2.2.	ATU-R.....	99
3.4.2.3.	Configuraciones ATU-R/Splitter.....	99
3.4.2.3.1.	Configuración Convencional.....	100
3.4.2.3.2.	Configuración Utilizando un Router.....	101
3.4.2.4.	Características De Los Equipos a Utilizar.....	103
3.4.2.4.1.	Splitter.....	103
3.4.2.4.2.	ATU-R.....	104
3.4.2.4.3.	Computador (PC).....	108
3.4.3.	<i>Esquema de interconexión.....</i>	109
CAPITULO 4: EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....		113
4.1.	ANÁLISIS DE MERCADO.....	113
4.1.1.	<i>Oferta existente en el sector.....</i>	116
4.1.2.	<i>Demanda del sector.....</i>	117
4.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	121
4.2.1.	<i>Costo Inicial del Proyecto.....</i>	122
4.2.2.	<i>Costo de Operación de la Red.....</i>	127
4.2.3.	<i>Ingresos por servicios.....</i>	129
4.2.4.	<i>Evaluación de la inversión.....</i>	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
ANEXO A: MAPAS		
ANEXO B: CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE LA LÍNEA		
ANEXO C: PROGRAMAS MATLAB		
ANEXO D: MODELO DEL CABLE DE COBRE		
BIBLIOGRAFIA		

ABREVIATURAS

2B1Q	(2 Binary 4 Quaternary Code)
ADSL	Línea de Abonados Digital Asimétrica Asymmetric Digital Subscriber Line)
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estandar (American national Standard Institute)
ATM	Módulo de Transferencia Asíncrono (Asynchronous Transfer Mode)
ATU-C	Unidad Terminal Central ADSL (ADSL Terminal Unit Central)
ATU-R	Unidad Terminal Remota ADSL (ADSL Terminal Unit Remote)
AWG	(American Wire Gauge)
BER	Tasa de Error de Bit (Bit error Rate)
CAP	(Carrierless Amplitude Phase Modulation)
CHAP	(Challenge Handshake Authentication Protocol)
CO	Oficina Central (Central Office)
DHCP	Protocolo de Configuración Dinámica de Servidores (Dynamic Host Configuration Protocol)
DMT	Modulación por Multitonos Discretos (discrete Multitone)
DNS	(Domain Name System)
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSP	Procesador Digital de Señal (Digital Signal Processor)
DWMT	(Discrete Wavelet Multitone)

E1	Formato Europeo de Transmisión Digital
ETSI	Instituto de Estándares de Telecomunicación Europeos (European Telecommunications Standards Institute)
FDM	Multiplexación por División de Frecuencia (Frequency Division Multiplexing)
FEC	Corrección de Errores a Posteriori (Forward Error Correction)
FEXT	(Far-End Crosstalk)
FFT	Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform)
FTP	Protocolo de Transferencia de Archivos (File Transfer Protocol)
HDSL	Línea Digital de Alta Velocidad Binaria (High-Bit-Rate Digital Subscriber Line)
HPF	Filtro Pasa-Altos (High-Pass Filter)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IFFT	Transformada Inversa Rápida de Fourier (Inverse Fast Fourier Transform)
IGMP	(Internet Group Management Protocol)
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IP	Protocolo de Internet (Internet Protocol)
IPX	Intercambio de Paquetes Interred (Internetwork Packet Exchange)
ISDN	Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Network)
IVA	Impuesto al Valor Agregado
LAN	Red de Area Local (Local Area Network)
LPF	Filtro Pasa-Bajos (Low-Pass Filter)
MDF	Main Distribution Frame

MPU	Unidad Principal de Proceso (Main Processor Unit)
MSC	Tarjeta de Administración y Conmutación del DSLAM
NEXT	(Near-End Crosstalk)
POTS	Servicios de Telefonía Tradicionales (Plain Old Telephone Services)
PSD	Densidad Espectral de Potencia (Power Spectral Density)
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada (Public Switched Telephone Network)
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation)
RBG	Ruido Blanco Gaussiano
RIP	Protocolo de Información de Enrutamiento (Routing Information Protocol)
RRE	Ruido Residual de Eco
SDSL	Línea Digital Simétrica de Usuario (Symmetric Digital Subscriber Line)
SNMP	Protocolo Simple de Gestión de Redes (Simple Network Management Protocol)
SNR	Relación Señal a Ruido
TCM	Modulación por Codificación de Trellis
TDR	Reflectómetro en Dominio del Tiempo (Time Domain Reflectometer)
TREMA	Tasa de Recuperación Mínima Atractiva
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UTP	Cable de Par Trenzado No Apantallado (Unshielded Twisted Pair)
VDSL	Línea Digital de Muy Alta Velocidad de Usuario (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line)
VPN	Valor Presente Neto
WAN	Red de Área Amplia (Wide Area Network)

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
CAPITULO 1	
Tabla 1.1. Capacidad vs. Distancia en VDSL	4
Tabla 1.2. Resumen de Tecnologías XDSL.....	6
Tabla 1.3. Rendimiento ADSL.....	17
Tabla 1.4. Velocidad y Ancho de Banda de CAP.....	20
CAPITULO 2	
Tabla 2.1. Tipos de Cable Utilizados en La Red Primaria	29
Tabla 2.2. Valores de Atenuación para cable de cobre de 0.4mm	37
Tabla 2.3. Valores de Atenuación para cables de cobre de 0.4mm con empalme	39
Tabla 2.4. Capacidad del Canal downstream a 0,6991Km de la Central	69
Tabla 2.5. Capacidad del Canal Downstream a 2,5826Km de la Central.....	72
Tabla 2.6. Capacidad del Canal Upstream a 0,6991 y 2,5826 Km. de la Central	75
Tabla 2.7. Capacidad Real en el Canal Downstream	81
Tabla 2.8. Capacidad Práctica en el Canal Upstream	83
CAPITULO 3	
Tabla 3.1. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Downstream.....	88
Tabla 3.2. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Upstream	89
Tabla 3.3. Slots del Chasis Principal del DSLAM IES-3000	94
Tabla 3.4. Dimensiones y Peso de Chasis (sin Tarjetas) del DSLAM IES-3000.....	95
Tabla 3.5. Consumo de Potencia del DSLAM IES-3000	96
CAPITULO 4	
Tabla 4.1. Demanda Esperada del Servicio ADSL	121
Tabla 4.2. Costo de Equipos y Materias de la Central Telefónica	123
Tabla 4.3. Costo Materiales y Equipos de Abonados	124
Tabla 4.4. Costo de Equipo de Medición	124
Tabla 4.5. Costos de Instalación e Interconexión de Equipos	125
Tabla 4.6. Costo de Pruebas y Mediciones	126
Tabla 4.7. Costos de Personal que Opera la Red ADSL.....	127
Tabla 4.8. Costo Anual de Enlace a Internet	128

Tabla 4.9.	Costo Anual de Servicios Básicos	129
Tabla 4.10.	Gasto Total Anual de la Red ADSL.....	129
Tabla 4.11.	Precio Mensual de los Servicios ADSL que se ofrecen.....	130
Tabla 4.12.	Ingreso Total Anual por Servicios ADSL.....	130
Tabla 4.13.	Flujos de Efectivo Neto del Proyecto	132

ANEXO B

Tabla B.1.	Tabla de Atenuación Por Longitud de Línea (Red Primaria + Red Secundaria)
Tabla B.2.	Tabla de Atenuación de Empalmes
Tabla B.3.	Tabla de Atenuación Total

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPITULO 1	
Figura 1.1. Uso del Espectro en VDSL	4
Figura 1.2. Arquitectura de Conexión del servicio ADSL.....	9
Figura 1.3. Distribución de Frecuencias en ADSL	10
Figura 1.4. Modelo de Referencia de una Red de Acceso ADSL.....	11
Figura 1.5. ADSL Full y ADSL Lite	16
Figura 1.6. Caudal Máximo ADSL en función de la Longitud del Bucle de Abonado.....	18
Figura 1.7. Modulación DMT con FDM	24
Figura 1.8. Modulación DMT con Cancelación de Ecos	25
CAPITULO 2	
Figura 2.1. Segmento de Red Primaria y Armario	30
Figura 2.2. Segmento de Red Secundaria.....	32
Figura 2.3. Atenuación en cable de cobre sin empalme y con empalme	40
Figura 2.4. Valores de Atenuación más altos para cada Armario de la Central.....	42
Figura 2.5. Modelo de Ruido Blanco Gaussiano	43
Figura 2.6. Modelo de Interferencia	46
Figura 2.7. PSD del NEXT de n Pares Interferentes en el Canal Upstream	51
Figura 2.8. PSD del NEXT de n Pares Interferentes en el Canal Downstream.....	52
Figura 2.9a. PSD del FEXT en el Downstream con n = 49 pares interferentes	54
Figura 2.9b. PSD del FEXT en el Downstream con n = 9 pares interferentes	55
Figura 2.10a. PSD del FEXT en el Upstream con n = 49 pares interferentes	55
Figura 2.10b. PSD del FEXT en el Upstream con n = 9 pares interferentes.....	56
Figura 2.11a. PSD Total del Ruido para el Downstream (NEXT, FEXT y RBG) en una línea de 1 Km para 9 y 49 pares interferentes.....	58
Figura 2.11b. PSD Total del Ruido para el canal Downstream (NEXT, FEXT y RBG) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes	58
Figura 2.12. PSD total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT y RBG) para línea de 1 Km. de longitud para 9 y 49 pares interferentes	59
Figura 2.13a. PSD Total del Ruido para el canal Downstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) en una línea de 1 Km para 9 y 49 pares interferentes.....	61

Figura 2.13b.	PSD Total del Ruido para el Downstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes	61
Figura 2.14a.	PSD total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para línea de 1 Km. de longitud para 9 y 49 pares interferentes	62
Figura 2.14b.	PSD Total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes	62
Figura 2.15.	Velocidad de datos para subportadoras en el Canal Downstream a 0,6991Km	67
Figura 2.16.	Número de bits asignados a cada subportadora en Canal Downstream a 0,6991Km	68
Figura 2.17.	Velocidad de datos para subportadoras en el Canal Downstream a 2,5826Km	70
Figura 2.18.	Número de bits asignados a cada subportadora en Canal Downstream a 2,5826Km	71
Figura 2.19.	Velocidad de datos para subportadoras en el Canal Upstream	73
Figura 2.20.	Número de bits asignados a cada subportadora en Canal Upstream	74
Figura 2.21.	Velocidad de datos para subportadoras en el Canal Downstream.....	79
Figura 2.22.	Número de bits asignados a cada subportadora en Canal Downstream.....	80
Figura 2.23.	Velocidad de datos para subportadoras en el Canal Upstream	82
Figura 2.24.	Número de bits asignados a cada subportadora en Canal Upstream	83

CAPITULO 3

Figura 3.1.	Configuración Splitter/ATU-C	93
Figura 3.2.	Estructura del DSLAM IES-3000.....	97
Figura 3.3.	Configuración Convencional ATU-R/Splitter	100
Figura 3.4.	Configuración ATU-R/Splitter utilizando un Router.....	102
Figura 3.5.	POTS Splitter ubicado donde el abonado.....	103
Figura 3.6.	Módem/Router ADSL P645R	104
Figura 3.7.	Esquema de Interconexión Central Telefónica – Abonados.....	110
Figura 3.8.	Esquema de cableado en el interior de la Central Telefónica	112

CAPITULO 4

Figura 4.1.	Vista panorámica del Sector de Puerto Azul.....	114
Figura 4.2.	Crecimiento de la Demanda de Internet en Ecuador.....	119
Figura 4.3.	Flujos de Efectivo del Proyecto	132

ANEXO A

- Figura A.1. Mapa de Zona No Explotada
- Figura A.2. Mapa de Cobertura Telefónica de la central
- Figura A.3. Mapa de cobertura de servicio vs distancias hacia la Oficina Central

ANEXO C

- Figura C.1. Flujo de ejecución del programa de ejemplo "GrafCapa".
- Figura C.2. Flujo de ejecución de los programas para cálculo de Capacidad
- Figura C.3. Flujo de ejecución de los programas generadores de Ruido
- Figura C.4. Uso del comando "help" para visualizar ayuda en los programas

ANEXO D

- Figura D.1. Modelo para una sección pequeña de cable de cobre

INTRODUCCIÓN

El servicio de Internet en los últimos años ha experimentado grandes avances tecnológicos que no solamente permiten enviar e-mails y navegar por páginas de Internet en busca de información que fue su objetivo inicial. Ahora las actividades que se pueden realizar en Internet son variadas, y requieren de mayor velocidad de conexión para mantener su calidad. Para poder satisfacer todas estas necesidades el acceso a Internet necesita tener una conexión de banda ancha, y ya no solo el acceso telefónico inicial de 56 Kbps. Este tipo de acceso en nuestro país está siendo implementado paulatinamente, sin embargo las velocidades que se ofertan actualmente comparadas a las que se ofrecen en otros países son bajas.

ADSL al ser una tecnología que permite el acceso a Internet con banda ancha, es la mejor alternativa que tiene una empresa de telefonía tradicional para poder brindar un servicio que esté al mismo nivel de los que ofrecen actualmente otras empresas. Además, la implementación de esta tecnología no requiere de mayor inversión en la planta externa ya que ésta está instalada en su totalidad para el servicio telefónico tradicional.

En el presente trabajo se distinguen 3 partes: la primera el análisis teórico de la tecnología ADSL, la segunda el análisis de la línea de transmisión de datos utilizada y el diseño de la red de acceso ADSL y finalmente se presenta un análisis del proyecto.

En el primer capítulo se describen las tecnologías xDSL existentes y sus diferentes características. Se analiza principalmente la ADSL que es la que se utilizará para el diseño puesto que es la que mejor se ajusta al servicio de acceso a Internet a nivel Residencial.

En el segundo capítulo se describe la estructura de la planta externa de la empresa de telefonía fija y se hace un análisis detallado de las condiciones de la Línea de Transmisión instalada en el sector para verificar que se pueda brindar el servicio de acceso a Internet con

la tecnología ADSL, en base a este análisis se presenta el cálculo de la máxima capacidad de datos que se pueden transmitir por el par de Cobre.

En el tercer capítulo se define la cobertura y los diferentes tipos de velocidades que se pueden ofrecer a los usuarios residenciales. Además se describen todos los equipos ADSL necesarios a instalar en la central telefónica así como los que se requieren en las casas de los abonados para brindar el servicio, planteando así un esquema de interconexión abonados-Central Telefónica. Puesto que el diseño es solo de la red de acceso la salida a Internet se plantea realizarla a través de un carrier.

Finalmente como todo proyecto éste requiere una evaluación. En el capítulo cuatro se hace un análisis de la demanda que se tendría del servicio en el sector y un análisis económico del proyecto para determinar si la inversión a realizar es aceptable.

CAPITULO 1: TECNOLOGIA DE ACCESO ADSL

1.1. Tecnología XDSL

La demanda en telecomunicaciones de nuestro actual mundo ha dado lugar al nacimiento de nuevos productos, y por ende mercados de nuevos servicios. La constante disputa entre compañías por ofrecer nuevos servicios, enfocándose en la satisfacción del usuario y la eficiencia, ha dado lugar a que viejas tecnologías para el acceso a Internet, como el acceso telefónico, sean consideradas poco viables para cumplir con las actuales exigencias en capacidad de datos.

El acceso telefónico convencional, usando la estrecha banda de voz del ser humano, ha sido considerado por mucho tiempo como una solución rápida para otorgar al consumidor una conexión de baja velocidad para satisfacer sus necesidades básicas de comunicación. La creciente demanda en el ancho de banda residencial de las últimas décadas, a raíz del uso de aplicaciones cada vez más exigentes, ha hecho de aquel limitado ancho de banda una calle empedrada en contraste con las verdaderas autopistas que se requieren [1].

Con todo esto en mente y enterados del factible uso de las redes de cobre existentes

para enviar señales de alta frecuencia, XDSL (o sus derivados) ha sido el camino que han elegido los proveedores de acceso a Internet para otorgar al usuario final una conexión de banda ancha apegada a sus requerimientos actuales y futuros.

1.1.1. Qué es XDSL

Los avances en tecnología han logrado reducir costos de fabricación y miniaturizar los equipos electrónicos capaces ahora de poseer la inteligencia para administrar y establecer conexiones en los antiguos pares de cobre. Las redes de par de cobre del sistema telefónico han sido diseñadas para transportar señales de voz, pero el estándar para los sistemas XDSL ha demostrado que estos medios de transmisión son capaces de transportar señales con un gran ancho de banda (más de 1 MHz) antes no utilizado.

El secreto de los sistemas XDSL se basa en el diseño asumiendo un sistema lleno de señales perturbadoras o de interferencia externa desde el punto de vista del par de cobre en uso. Técnicas de modulación, señalización y los procesadores digitales modernos integrados en pequeños chips son los que han hecho posible la masificación del uso de esta tecnología en otros países.

Entonces, XDSL es un conjunto de tecnologías que hacen posible que una red de cobre telefónica antigua sea actualizada para soportar anchos de banda antes no explotados. La separación del ancho de banda para la telefonía convencional y para la nueva tecnología XDSL por medio de la división de frecuencias hace posible que ambos servicios (telefonía y datos) sean completamente independientes a excepción de la dependencia de estos por la Red de Acceso (red de pares de cobre).

1.1.2. Clasificación de la familia XDSL

El mercado que cada telefónica ha decidido captar es lo que define el tipo de tecnología que ha elegido para su exitosa implementación. En la actualidad los derivados de la familia xDSL se diferencian principalmente por su capacidad de transporte mayor o menor de datos. Siendo los principales exponentes: ADSL, VDSL, HDSL y SDSL.

1.1.2.1. ADSL

Talvez la más conocida, por su enfoque al mercado doméstico, ADSL es parte de la familia xDSL pensada para aprovechar el par trenzado de las compañías telefónicas usando un ancho de banda de un poco más de 1 MHz. Su inicio público se puede decir que es a partir de 1999, cuando esta tecnología se popularizó. Realmente es una tecnología que nació en 1989.

Esta tecnología fue definida para utilizar básicamente dos tipos de esquemas de multiplexación, una con división de frecuencia y otra con cancelador de eco para poder diferenciar el canal de subida (upstream) con el canal de bajada (downstream). La mayor implementación de este tipo de módems es por medio del uso de modulación del tipo DMT, aunque CAP y DWMT también son posibles.

1.1.2.2. VDSL

Mientras que ADSL está dedicado a satisfacer las necesidades de conexión abarcando toda la red existente de cobre (o la mayor parte), VDSL se enfoca a brindar conexiones de muy alta velocidad (13 – 55 Mbps en Downstream) para

usuarios más exigentes. Y al igual que ADSL, ofrece una solución Asimétrica en el sentido del flujo de datos.

Por supuesto que esta alta capacidad tiene límites mucho más restringidos en cuanto a distancia desde la central telefónica. Valores típicos de estas limitantes puede ser visto en la tabla 1.1.

Velocidad en Canal Downstream (Mbps)	Distancia (metros)
12,96 – 13,8	1500
25,92 – 27,6	1000
51,84 – 55,2	300

Tabla 1.1. Capacidad vs. Distancia en VDSL [2]

Pero VDSL comparte la misma tecnología que ADSL en cuanto a modulación, código de línea, corrección de errores, etc. En la figura 1.1. podemos ver cómo también se brinda compatibilidad con el sistema telefónico tradicional (POTS).

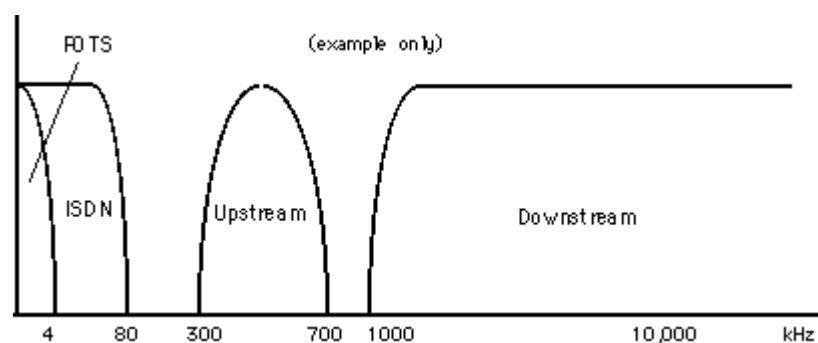


Figura 1.1. Uso del espectro en VDSL

Por lo tanto, VDSL no es más que una mejora en capacidad de datos. Puede llegar a velocidades 10 veces superiores a las definidas para ADSL. Nuevamente, la distancia es el lado negativo en las características de un sistema VDSL. Puede ser considerado su uso para clientes corporativos cercanos a la central telefónica. O sino puede ser una tecnología ideal para enlazar redes entre edificios próximos. La Figura 1.1. sugiere el uso de un filtro (o splitter) para separación de la señal de datos de la señal de voz del sistema POTS.

1.1.2.3. HDSL

A pesar de no estar dedicado al sector doméstico o de pequeña empresa, HDSL es una variante más del xDSL. Por su nombre en inglés (High data rate DSL), HDSL permite un flujo de datos simétricos (igual en ambos sentidos), permitiendo alcanzar hasta 2,3 Mbps en ambas direcciones.

La principal desventaja es que esta tecnología no permite el uso del antiguo sistema telefónico en la misma línea de cobre. Es decir que no brinda compatibilidad con POTS. Como es obvio, no se usa splitter en esta variedad. Su uso está dedicado a la entrega de E1 o T1 para transferencia de datos.

Además, esta tecnología puede usar hasta 3 pares de cobre como medio de transmisión de sus datos. Esto hace que HDSL no sea una alternativa altamente atractiva para las telefónicas. Mientras tanto, VDSL puede imponerse. La distancia alcanzable puede llegar a 5Km o más (12 Km.) pero usando repetidoras.

1.1.2.4. SDSL

Al igual que HDSL, el soporte para transmisiones es del tipo simétrico. Pero difiere de HDSL en las siguientes características. La primera es que utiliza un único par de cobre como medio de transmisión. La segunda, posee un rango máximo de operación de 2Km a la máxima velocidad. Finalmente, la velocidad de transmisión está entre los 128 Kbps hasta 2,32 Mbps. Por todo lo demás es idéntico en uso. Es decir, esta tecnología está dedicada a transmisiones de E1 o T1.

En la tabla 1.2. se presenta un resumen de todas las tecnologías de la familia XDSL.

Acrónimo	N° par de cables	Modulación	Ancho de banda (Mbps)	Modo	Distancia (Km.)	Aplicaciones	Uso Splitter
ADSL	1	DMT	6,144	Asimétrico	3,6	Acceso Internet, video bajo demanda, video simple, acceso LAN, multimedia interactivo	A la entrada
VDSL	1	DMT	13 – 55	Asimétrico	1,5	Conectar redes entre distintos edificios.	A la entrada
HDSL	1 – 3	2B1Q/CAP	1,544 a 2,048	Simétrico	5 ó 12(repetidor)	Acceso al servicio T1 o E1	No
SDSL	1	TC-PAM	0,192 a 2,32	Simétrico	2	Lan, Wan y acceso a servidores	No

Tabla 1.2. Resumen de Tecnologías XDSL

1.2. Línea De Abonados Digital Asimétrica (ADSL)

1.2.1. Introducción

ADSL son las iniciales de *Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonados Digital Asimétrica*. Es una tecnología de acceso que transforma las

líneas telefónicas o el par de cobre del abonado en líneas de alta velocidad permanentemente establecidas, que puedan conectar simultáneamente el servicio POTS (teléfono tradicional) y el servicio de Datos (Internet) [3].

Esta técnica permite la transmisión de datos a mayor velocidad en un sentido que en el otro, esta característica es la que le da nombre al servicio ADSL. Típicamente 2 megabits/segundo hacia el usuario (downstream) y 300 kilobits/segundo desde el usuario (upstream). Para conseguir las velocidades especificadas, es necesario el empleo de modulaciones o códigos de línea de alta capacidad y eficiencia. ADSL emplea dos tipos de estándares de codificación¹ los de portadora simple CAP (Carrierless Amplitude and Phase) y los de portadora múltiple DMT (Discrete Multitone). Este último es superior al CAP, al alcanzar mayores tasas de velocidad con mayor eficiencia espectral, que se traduce en más alcance para la misma velocidad, o más velocidad para el mismo alcance. Pero añaden el coste de una mayor complejidad tecnológica y de equipos. Todo eso hizo que los sistemas CAP se impusieran en el mercado, aunque en la actualidad los sistemas DMT se están desplegando en mayores volúmenes para ADSL.

Pese a las ventajas que presenta ADSL, como estándar principal de XDSL, también es un sistema altamente limitado, por el medio en el que se implementa. Posee una gran limitación en el alcance y tipos de bucle. El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los abonados dentro del Área de Servicio. Los efectos de desarrollar tecnologías sobre un medio pensado inicialmente para voz, desencadena gran número de problemas, como a nivel físico, con empalmes de pares con distinto calibre, derivaciones sin terminar, o cables dañados producen reflexiones y reducción de la SNR de las señales.

¹ Ver la sección 1.2.4.: Esquemas de Modulación

Existen además gran número de fenómenos de ruido asociados como el ruido de fondo, ruido impulsivo, interferencias electromagnéticas de otras fuentes, diafonía entre pares y entre las señales bidireccionales, etc. Todo ello obliga a los estándares ADSL a tener que buscar todo tipo de herramientas con el fin de evitar esta problemática de transmisión.

1.2.2. Arquitectura y Estructura de una red ADSL

1.2.2.1. Arquitectura de Red

El ADSL usa un par de cobre para transportar simultáneamente las señales de voz y datos en canales diferentes, por esta razón se utiliza un separador de frecuencias (splitter o discriminador), tanto en el domicilio del usuario como en la central, antes de que el cable entre en la centralita de conmutación. El “splitter” tiene dos conexiones: a una se conectan los aparatos telefónicos que siguen funcionando como siempre, a la otra se conecta un módem especial ADSL que a su vez se conecta al computador (en el domicilio del usuario) o a la red de datos (en la central telefónica).

Los módems ADSL transforman las líneas telefónicas convencionales en líneas de alta velocidad con conexión permanente, incorporan mecanismos FEC (Forward Error Correction) de corrección de errores que reducen de forma importante los errores causados por el ruido impulsivo. La corrección de errores símbolo a símbolo también reduce los errores causados por el ruido continuo acoplado en una línea.

Puesto que el ADSL necesita una pareja de módems por cada usuario: uno en el domicilio del usuario (ATU-R) y otro (ATU-C) en la central local a la que llega el

bucle de ese usuario, esto complica el despliegue de esta tecnología de acceso en las centrales. Para solucionar esto surgió el DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, Multiplexor de Acceso de Línea de Subscriptor Digital), un chasis que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C. Típicamente el DSLAM se conecta a una red ATM donde puede transmitir datos. A cada extremo de la transmisión, un demultiplexor de DSLAM retransmite los datos a las conexiones individuales de ADSL apropiadas. El DSLAM además es capaz de encaminar el tráfico de todas las tarjetas hacia una red de área extensa o WAN.

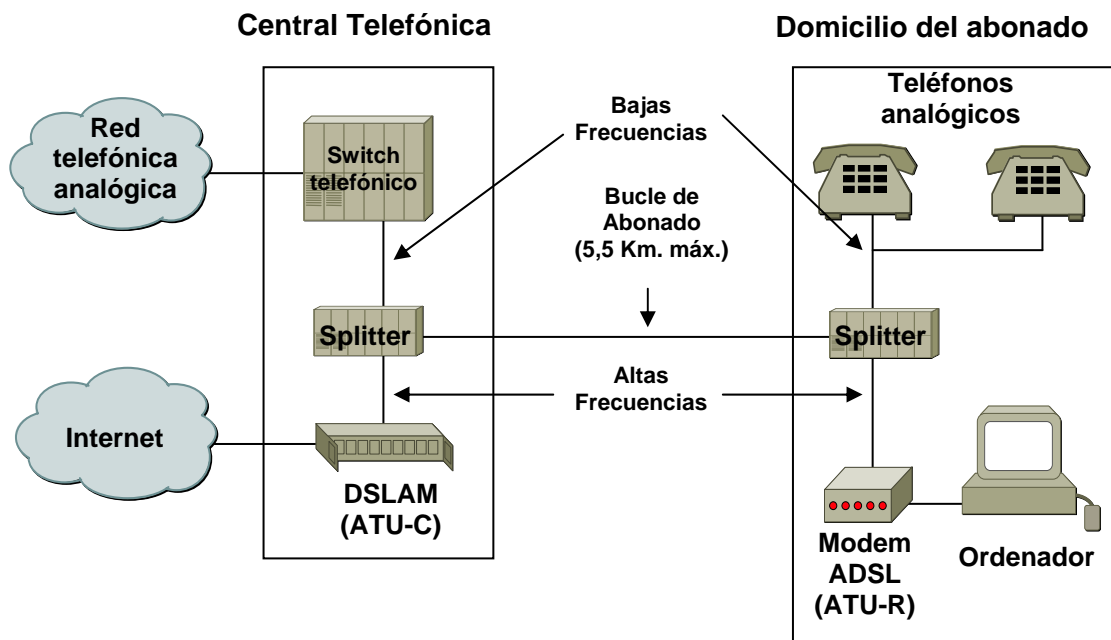


Figura 1.2. Arquitectura de Conexión del servicio ADSL

La banda de frecuencias usada en la tecnología ADSL comprende desde los 0Hz hasta los 1.1MHz, porque más allá de los 1.1MHz las pérdidas son demasiado

importantes. Esta banda se reparte en tres sub-bandas o canales:

- El primero es el canal estándar que se utiliza para transmitir la comunicación normal de voz (servicio telefónico básico) y va de 0Hz hasta 4KHz.
- El segundo es el canal de velocidad media por el que se transmiten los datos desde el usuario hacia la central (upstream) y va desde los 25KHz hasta 138KHz.
- El tercero es el canal de alta velocidad por el que se transmiten los datos de la central hacia el usuario (downstream) y va desde los 200KHz hasta 1.1MHz.

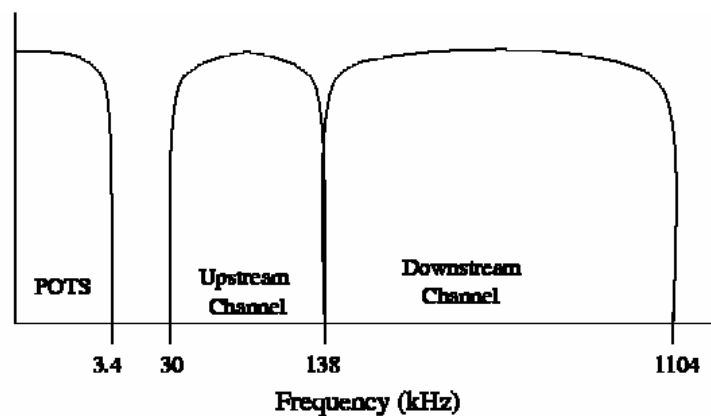


Figura 1.3. Distribución de Frecuencias en ADSL [4]

1.2.2.2. Estructura de Red

1.2.2.2.1. Modelo de Referencia de Red de Acceso ADSL

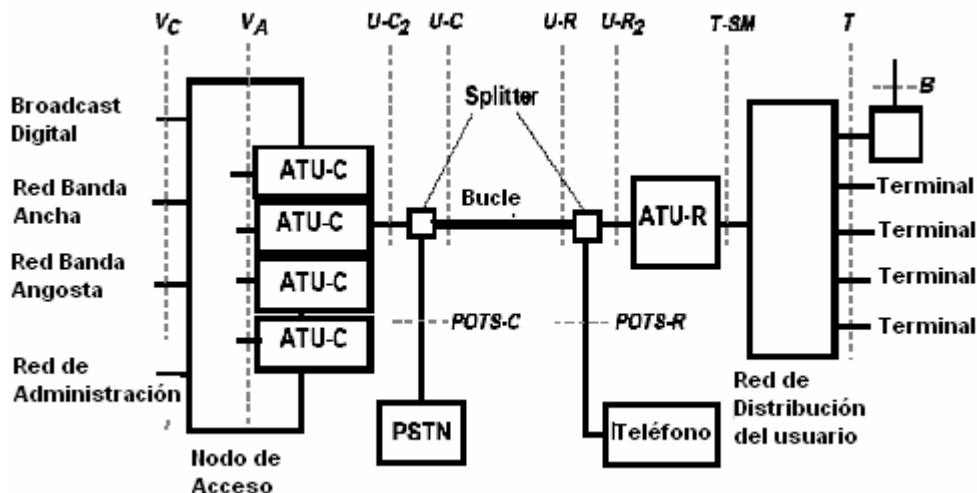


Figura 1.4. Modelo de Referencia de una Red de Acceso ADSL[4]

Los elementos de la red ADSL de acceso mostrada en la Figura 1.4. que intervienen en la comunicación son los siguientes[4]:

- **ATU-C (ADSL Terminal Unit Central):** Módem ADSL, que reside en el nodo de acceso y cuya función principal es la de modular la información digital para así, adaptarla al bucle de abonado.
- **ATU-R (ADSL Terminal Unit Remote):** Módem ADSL que reside en las dependencias del abonado. Convierte la información digital de la red y la modula para que pueda enviarse por el bucle de abonado. En algunos casos, también puede hacer funciones de encaminamiento de red de usuario.
- **Broadcast Digital:** Entrada de datos de banda ancha en modo simple (típicamente broadcast de video).
- **Bucle:** Línea telefónica de par trenzado, por la que se envían las señales

de voz y datos. La modulación evita que interfieran las bandas de ambos. El bucle puede diferir en distancia, diámetro y características de transmisión dependiendo de la red.

- **Nodo de Acceso:** Punto de concentración para los datos de banda ancha y banda angosta. Puede estar localizado en la Oficina Central (Central Office, CO) o en un sitio remoto.
- **POTS:** Servicio Telefónico Tradicional (Plain Old Telephone Service).
- **POTS-C:** Interfase entre PSTN y el POTS splitter que está al final de la red.
- **POTS-R:** Interfase entre los teléfonos y el POTS splitter que está en el usuario final.
- **PSTN:** Red Telefónica Pública Conmutada (Public Switched Telephone Network).
- **Red Banda Ancha:** Sistema conmutado para tasas de datos mayores a 1.5/2 Mbps.
- **Red Banda Angosta:** Sistema conmutado para tasas de datos iguales o menores a 1.5/2 Mbps.
- **Red de Distribución de Usuario:** Sistema para conecta el ATU-R a módulos de servicio. Puede ser punto-punto o multipunto; con cable sencillo o una red activa. Si es multipunto puede ser red estrella o bus.
- **SM:** Módulo de Servicio, desempeña funciones de adaptar terminales. Por ejemplo los set top boxes, interfases de PC o ruteadores LAN.

- **Splitter:** Filtros que se encargan de separar la señal de voz (baja frecuencia) de la señal de datos ADSL (alta frecuencia), de manera que la voz vaya desde el teléfono de abonado hasta la PSTN y los datos desde el equipo terminal hasta la red de acceso al servicio. El splitter puede estar integrado en el ATU, físicamente separado del ATU, o dividido entre pasa alto y pasa bajo, con el pasa bajo funciona físicamente separado del ATU.
- **T-SM:** Interfase entre el ATU-R y la Red de Distribución de Usuario. Puede ser igual que la interfase T cuando la red es punto-punto. Un ATU-R puede tener más de un tipo de interfase T-SM implementado (por ejemplo una conexión T1/E1 y una conexión Ethernet). La interfase T-SM puede estar integrada en el Módulo de Servicio (SM).
- **T:** Interfase entre la Red de Distribución de Usuario y el Módulo de Servicio. Puede desaparecer a nivel físico cuando el ATU-R está integrado al Módulo de Servicio.
- **U-C:** Interfase entre el bucle y el POTS Splitter del lado de la red.
- **U-C₂:** Interfase entre el POTS Splitter y el ATU-C.
- **U-R:** Interfase entre el bucle y el POTS Splitter del lado del usuario.
- **U-R₂:** Interfase entre el POTS Splitter y el ATU-R.
- **V_A:** Interfase lógica entre el ATU-C y el Nodo de Acceso. Puesto que esta interfase usualmente está dentro de los circuitos en una tarjeta común, el ADSL Forum no la considera como una interfase física. La interfase V puede contener modos de transmisión STM, ATM o ambos. En el caso

más simple de una conexión punto-punto entre el puerto de un switch y un ATU-C (este es un caso sin multiplexación), las interfases V_A y V_C son idénticas (otra opción es que la interfase V_A desaparece).

- V_C : Interfase entre el Nodo de Acceso y la red. Puede tener múltiples conexiones físicas (como se puede observar en la Figura 5) y además puede llevar todas las señales a través de una conexión física simple.

1.2.3. Clases de ADSL

Existen dos tipos: ADSL Full y ADSL Lite [3].

a) ADSL Full

- Estándar: G.992.1 UIT-T/T1.413 ANSI
- Velocidades: Canal upstream (640Kbps), canal downstream (8Mbps)
- Distancia Efectiva: Aproximadamente 2.8 Km.

b) ADSL Lite

- Estándar: G.992.2 UIT-T
- Velocidades: Canal upstream (384Kbps), canal downstream (1,5Mbps)
- Distancia Efectiva: Aproximadamente 3.8 Km.

El ADSL Full corresponde al sistema que se ha descrito previamente. El ADSL Lite, es una variante del ADSL de bajo costo y velocidad para poder ser instalada y utilizada más rápidamente por los servicios de proveedores. También conocida como G. Lite o splitterless ADSL (sin filtro voz/datos).

La diferencia clave entre la versión ADSL y ADSL Lite son los filtros (splitters), utilizados en ADSL y necesarios para separar el canal de voz del de transmisión de datos ADSL, y que no se utilizan en el G. Lite.

El objetivo del ADSL Lite es evitar el desplazamiento de un técnico en el domicilio del usuario para instalar el splitter y el módem ADSL, un usuario puede comprar el módem en una tienda, enchufarlo en su casa y llamar a la empresa para que activen el servicio. Otro punto importante a tener en cuenta es el de los precios de los módems, ligeramente más baratos con la versión G.Lite.

Sin embargo, las ventajas de la versión G. Lite se traducen en una desventaja al momento de utilizar el mismo cableado tanto para voz como para datos a lo largo de la instalación telefónica, ya que pueden producirse interferencias. Además que las velocidades son menores a las que alcanza ADSL Full.

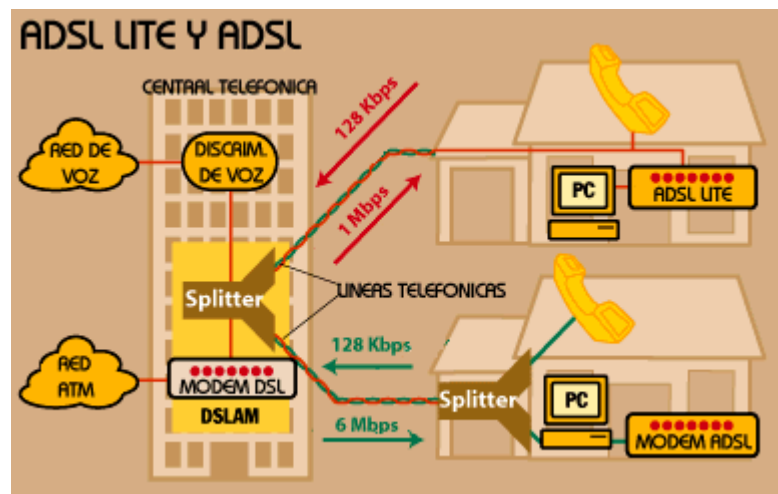


Figura 1.5. ADSL Full y ADSL Lite [5]

1.2.4. Esquemas de Modulación

Una de las claves que permiten el acceso de banda ancha en el par de cobre esta sin duda en las modulaciones empleadas en ADSL. El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los usuarios dentro del Área de servicio, que no es más que la zona geográfica en la que la central de conmutación puede dar servicio a los usuarios. Existen grandes limitaciones que no permiten la implantación de las tecnologías ADSL en algunos lugares. Sin duda si la distancia a la central de conmutación supera la distancia máxima, el servicio es inviable. Además el estado de los pares es fundamental para determinar la calidad y la distancia máxima donde el servicio es operativo. En cuanto a la velocidad que se puede alcanzar en función del tipo de par trenzado de forma teórica se tienen los valores de la Tabla 1.3.

VELOCIDAD	TIPO DE CABLE	DISTANCIA	GROSOR DEL CABLE
1,5 ó 2 Mbps	24 AWG	5,5 Km.	0,5 mm.
1,5 ó 2 Mbps	26 AWG	4,6 Km.	0,4 mm.
6,1 Mbps	24 AWG	3,7 Km.	0,5 mm.
6,1 Mbps	26 AWG	2,7 Km.	0,4 mm.

Tabla 1.3. Rendimiento ADSL [4]

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas y disminuye cuando se incrementa el diámetro del hilo. Y cuanto mayor es la longitud del bucle, tanto mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que la tasa máxima que se puede conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del bucle de abonado.

En la Figura 1.6. se representa la tasa máxima en Kbps que se puede conseguir sobre un bucle de abonado con un calibre de 0,405 mm. sin derivaciones, tanto en sentido ascendente como descendente. En la figura se representan las curvas con y sin ruido. La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación Señal/Ruido con la que trabaja cada una de las sub-portadoras, y esa disminución, se traduce en una reducción de la tasa de datos que modula a cada sub-portadora, lo que a su vez implica una reducción de la tasa total que se puede transmitir a través del enlace entre el ATU-R y el ATU-C.

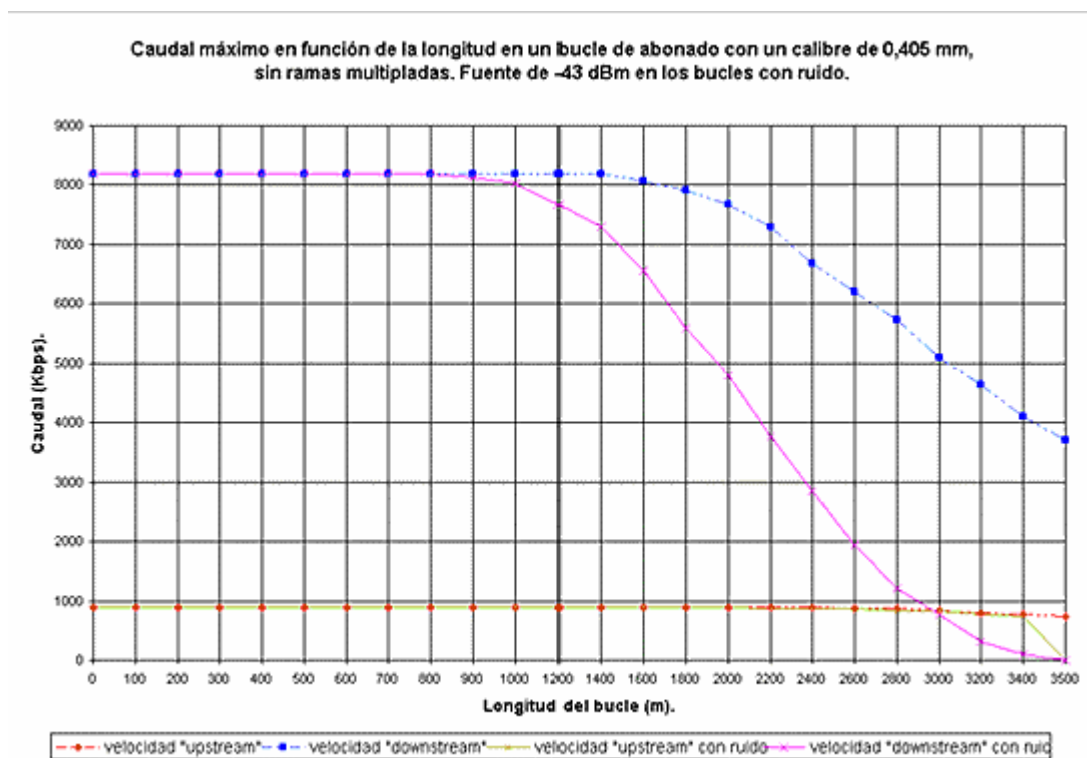


Figura 1.6. Caudal Máximo ADSL en función de la Longitud del Bucle de Abonado [6]

Hasta una distancia de 2,6 Km. de la central, en presencia de ruido, se obtiene un caudal de 2 Mbps en sentido descendente y 0,9 Mbps en sentido ascendente. Esto supone que en la práctica, teniendo en cuenta la longitud media del bucle de abonado en las zonas urbanas, la mayor parte de los usuarios están en condiciones de recibir por medio del ADSL un caudal superior a los 2 Mbps. Este caudal es suficiente para muchos servicios de banda ancha, y desde luego puede satisfacer las necesidades de cualquier usuario de Internet, tele trabajador así como de muchas empresas pequeñas y medianas.

Son tres las modulaciones empleadas en los sistemas ADSL: Modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation), DMT (Discrete Multi-Tone Modulation) y CAP (Carrierless Amplitude-Phase Modulation) [4].

1.2.4.1. Modulación QAM

QAM está en la base de todos los esquemas de transmisión de información ADSL. Los módems QAM han estado presentes por algunas décadas en tecnologías de módem tanto alámbricas como inalámbricas. En las implementaciones de ADSL, un valor de 4 bits se puede derivar de cada 16 tipos de señales discretas. Estos tipos de señales consisten en la amplitud de dos componentes generales: una en fase (seno) y otra desfasada (coseno). La combinación de las señales en QAM está compuesta de la siguiente manera:

- 2 bits para la amplitud (cuatro señales discretas de amplitud) de la señal seno.
- 2 bits para la amplitud (cuatro señales discretas de amplitud) de la señal coseno.

Cuando se unen todas las combinaciones cada símbolo puede representar 16 bits de información.

Esta es la técnica de modulación menos utilizada en ADSL, pero es la base para las técnicas de modulación comúnmente utilizadas en ADSL que son DMT y CAP.

1.2.4.2. Modulación CAP

La modulación ***Carrierless Amplitude and Phase*** es la más antigua utilizada en sistemas ADSL, además de que es sencilla y de bajo costo, aunque con menor

rendimiento que DMT.

Desarrollada por AT&T Paradyne, CAP está basada en QAM, es hecho es algorítmicamente idéntica a QAM. Esta técnica especifica que la modulación es “carrierless”, con una portadora que es impuesta por la banda transmisora formando un filtro a través del cual los símbolos fuera de los límites son filtrados. CAP divide la señal modulada en segmentos que después almacena en memoria. La señal portadora se suprime antes de la transmisión puesto que no aporta ninguna información. Al comienzo de la transmisión, CAP también comprueba la calidad de la línea de acceso y utiliza la versión más eficaz de QAM para obtener el mayor rendimiento en cada señal. La onda transmitida es la generada al pasar cada uno de los segmentos por dos filtros digitales transversales con igual amplitud, pero con una diferencia de fase de 90°. En el lado de recepción se reensamblan los segmentos y la portadora volviendo a obtener la señal modulada. De este modo, se obtiene la misma forma de espectro que con QAM, siendo CAP más eficiente en implementaciones digitales.

CAP	Rango frecuencias Aprox. (Khz.)	Caudal (Ksímbolos/s)
Enlace ascendente	25-200	136
Enlace descendente	240-630	340
	240-1020	680
	240-1330	952

Tabla 1.4. Velocidad y Ancho de Banda de CAP

La ventaja del principio de CAP está en la base de instalación de los módems. Estos están siendo desarrollados en varios mercados y disponibles por varios fabricantes. Presenta el gran inconveniente de no estar estandarizado por ningún organismo oficial (ni europeo, ETSI, ni americano ANSI, IEEE).

1.2.4.3. Modulación DMT

Discrete Multitone (Modulación por Multitonos Discretos) es la otra alternativa de modulación para ADSL, y ha sido aceptada por el comité ANSI T1 como el estándar a utilizar en las comunicaciones en un sistema de transmisión a través de ADSL debido a su habilidad para superar la fuerte distorsión producida en el par de hilos de cobre para las frecuencias en las cuales trabaja.

El espectro disponible estará desde 25 Khz. hasta 1,104 MHz, donde la banda por debajo de 20 Khz. estará reservada para el servicio telefónico vocal (POTS). La modulación DMT divide este espectro en unidades más pequeñas (sub-canales), de un ancho de banda determinado y con una frecuencia central (sub-portadora) sobre la que se modulará cada uno de los sub-canales mediante QAM. Las sub-portadoras serán múltiplos de una frecuencia básica. El ruido y las características del canal son constantemente medidos para cada uno de los sub-canales por separado, para determinar si pueden ser utilizados para transmitir información. Las características del canal medidas por el módem del usuario son señalizadas al centro telefónico de control donde se negocia el número de bits a transmitir en cada uno de los sub-canales para que la probabilidad de error sea menor que una cierta cota y poder conseguir así una transmisión óptima.

En el ADSL la modulación DMT divide el ancho de banda en 256 sub-canales,

Cada sub-canal puede transmitir de 2 a 15 bits por hertz, lo cual permite a ADSL dar transmisiones muy elevadas. A continuación se muestra el ancho de banda posible:

$$\text{Throughput}_{MAX} = (\text{Capac. Símbolo/Hz}) * (\text{Ancho de Banda Canal}) * (\Sigma \text{sub-canales})$$

Ecuación 1.1. Capacidad Para Transmitir Datos Con Modulación DMT [3]

Se divide el uso de los sub-canales, de modo que los 6 primeros se utilizan para el servicio telefónico, los siguientes 25 para el tráfico ascendente, y los 224 restantes para el tráfico descendente.

Antes de empezar la transmisión, se realiza una comprobación para determinar la capacidad de la señal portadora de cada sub-canal. Luego los datos entrantes se fragmentan en diversos números de bits y se distribuyen entre una determinada combinación de los 256 sub-canales creados, en función de su capacidad para efectuar la transmisión. Para eliminar el problema del ruido, se transportan más datos en las frecuencias inferiores y menos datos en las superiores. El reparto del flujo de datos entre sub-portadoras se hace en función de la estimación de la relación Señal/Ruido en la banda asignada a cada una de ellas. Cuanto mayor sea esta relación, mayor es el caudal que se puede transmitir por una sub-portadora. Esta estimación de la SNR se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el ATU-R y el ATU-C, por medio de una secuencia de datos predefinida.

La técnica de modulación usada es la misma tanto en el ATU-R como en el ATU-C. La única diferencia es que el ATU-C dispone de hasta 256 sub-portadoras, mientras que el ATU-R sólo puede disponer como máximo de 32. La modulación

es compleja, pero el algoritmo de modulación se traduce en una IFFT (transformada rápida de Fourier inversa) en el modulador, y en una FFT (transformada rápida de Fourier) en el demodulador situado al otro lado del bucle. Estas operaciones se pueden efectuar fácilmente si el núcleo del módem se desarrolla sobre un DSP²[1].

- El modulador del ATU-C, hace una IFFT de 512 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido descendente.
- El modulador del ATU-R, hace una IFFT de 64 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido ascendente.
- El demodulador del ATU-C, hace una FFT de 64 muestras tomadas de la señal ascendente que recibe.
- El demodulador del ATU-R, hace una FFT, sobre 512 muestras de la señal descendente recibida

Existen dos modalidades dentro del ADSL con modulación DMT: FDM y cancelación de ecos.

Con **FDM (Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencia)**, los espectros de las señales ascendente y descendente no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles sino por el hecho de que las de menor frecuencia, aquellas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están

² Un **DSP** es un Procesador digital de Señal basado en un microprocesador optimizado para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Es especialmente útil para el procesado de una señal compleja como la FFT y la IFFT.

disponibles.

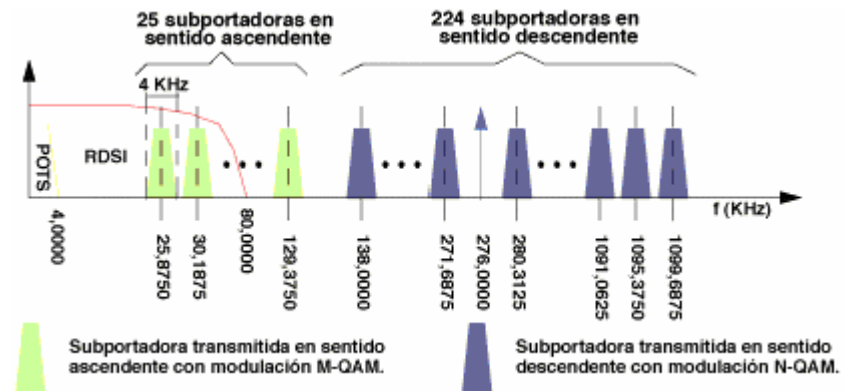


Figura 1.7. Modulación DMT con FDM [6]

La segunda modalidad basada en un *Cancelador de Ecos*, consiste en que el tráfico descendente ocupa también los sub-canales asignados al tráfico ascendente, por lo que para estas frecuencias se necesita separar las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión. Esta técnica permite mayores caudales a costa de una mayor complejidad en el diseño.

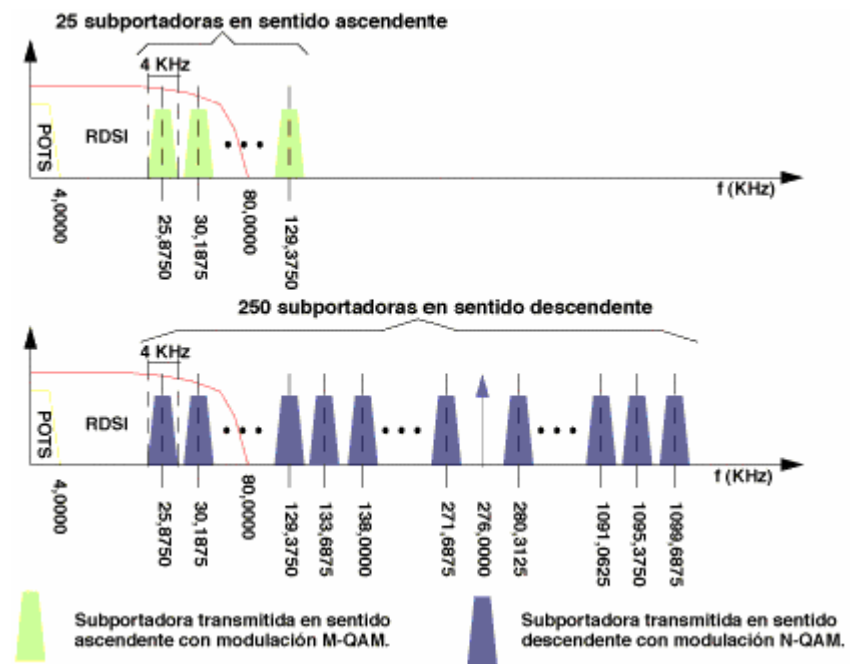


Figura 1.8. Modulación DMT con Cancelación de Ecos [6]

CAPITULO 2: ANÁLISIS DEL BUCLE DE ABONADO

2.1. Planta externa de la Central Telefónica

2.1.1. Estructura

Una de los módulos de una red telefónica básica es el de acceso (Planta Externa), que está conformado por todos los elementos que sirven para establecer contacto físico entre el Distribuidor Principal (MDF) ubicado en la Central Telefónica y el aparato telefónico del abonado. Se distinguen tres segmentos en la red de acceso: el de red primaria, de red secundaria y el de dispersión.

La Central Puerto Azul, ubicada en el sector más alto de la zona poblada (en una colina a un costado del carretero, está localizada en la zona central de su cobertura. Un edificio de concreto, de 2 plantas y terraza, brinda a la Central un cómodo establecimiento con espacio suficiente para ampliaciones de cualquier tipo. En la terraza se ofrece suficiente línea de vista para enlaces de radio de backup. Los cuartos usados para la central y para repartidores se encuentran protegidos del calor y la humedad a través de aire acondicionado centralizado. El cuarto del repartidor brinda el espacio suficiente para futuros crecimientos, ya que apenas el 40% está

ocupado.

2.1.1.1. Central Telefónica

El equipo conmutador telefónico usado consta de módulos divididos por su función. Así podemos hablar de las tarjetas de abonados, MPU³, troncales, etc. Esto brinda facilidad en el mantenimiento y arreglo de fallas del sistema ya que cada tarjeta es extraíble estando en uso (hot-swappable).

A pesar de ser una central digital, las tarjetas de abonados siguen manejando modulación en banda base analógica del lado del usuario, esto es para brindar compatibilidad con todos los teléfonos convencionales; respetando la señalización usada en la marcación de números.

El equipo conmutador telefónico se conecta con otras centrales a través de un anillo de fibra óptica. Esto permite tener una alta capacidad y crecimiento para los futuros aprovechamientos del núcleo de la red digital, por ejemplo capacidad reservada para nuevos servicios (como ADSL).

2.1.1.2. Puntos de Verificación de la Planta Externa (MDF)

Con el objetivo de poder llevar una distribución de los pares de cables de manera ordenada y además brindar facilidad en la reparación y mantenimiento, se posee dentro de la red de abonado varios puntos de verificación (o blocks de terminales) los cuales sirven para conectar los extremos de los cables y dan libertad al

³ MPU, Unidad Principal de Proceso (Main Processor Unit)

momento de aislar problemas por medio de la simple acción de quitar el cable de cruzada (o jumpers) usados para conectar dos blocks diferentes.

Se usan tanto dentro de la central (en el cuarto del MDF) como en los diferentes armarios que son alimentados por las distintas rutas. En el cuarto del MDF se encuentra el primer punto donde aparece el teléfono de cada abonado correspondiente a los puertos de la central telefónica. Cada uno de estos puertos llega a un bloque de regletas. Por medio de las cruzadas (o jumpers) se lleva el tono de cada puerto (con su correspondiente número telefónico asignado a él) a la regleta en donde se encuentra el par al que se ha asignado el número del usuario. A partir de aquí empieza la ruta primaria o cableado primario.

2.1.1.3. Segmento de Red Primaria

Este segmento está comprendido entre los puntos de conexión (lado calle) de las regletas del Distribuidor Principal (Main Distribution Frame, MDF) y los puntos de conexión en las regletas del armario telefónico.

El cable usado es del tipo multi-par y, dependiendo del número de usuarios a abastecer, puede contener diferente cantidad de pares. La compañía telefónica tiene unas normas que hacen referencia al tipo de cable que usan en sus redes las cuales mencionan la calidad y cantidad de los pares [7]. A continuación hacemos referencia a cómo están distribuidos el diámetro del conductor y el número de pares:

DIAMETRO DEL CONDUCTOR	BOBINAS DE 250 m.	BOBINAS DE 500 m.
0.4	900-3000 PARES	100-600 PARES
0.5	300-1200 PARES	100-200 PARES
0.6	300-600 PARES	100-200 PARES
0.7	300-600 PARES	100-200 PARES
0.8	200-400 PARES	100- 150 PARES

Tabla 2.1. Tipos de Cable Utilizados en La Red Primaria

En la central Puerto Azul se ha usado como primer tramo, desde la central, el cable multi-par de 1800 pares. Estos alimentan a los armarios dentro de la ciudadela que ofrecen una cobertura de aproximadamente 1000 m², los cuales dan cobertura aproximadamente a unos 400 pares por armario. El cableado primario es canalizado a través de ductos subterráneos desde la central hacia los diferentes armarios.

Puerto Azul presenta un sector todavía no explotado en las cercanías del estero salado. Para esta zona se disponen de las bases de hormigón para futuros armarios, que todavía no están colocados debido a la falta de demanda (Ver Figura A.1.).

2.1.1.4. Armarios

Los armarios son estructuras metálicas que sirven de límite entre la red primaria y la red secundaria de la planta externa y por lo general se ubican en aceras.

El armario en la red de Puerto Azul es de tipo metálico/fibra de vidrio, con entrada inferior para el acceso del cable primario a través de una base de hormigón fundido y una puerta para fácil acceso a su interior en la parte frontal del mismo. Aquí dentro encontramos las regletas de conexión de llegada de las rutas primarias y las de salida a la parte de cableado secundario, el cual puede seguir siendo subterráneo o aéreo.

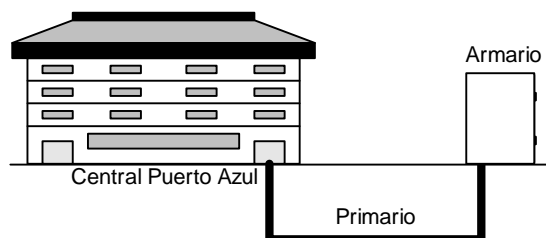


Figura 2.1. Segmento de Red Primaria y Armario

Dentro del armario se realizan las cruzadas (o jumpers) con cable calibre 0.4 ó 0.5 mm. Su longitud varía de un poco más de medio metro hasta máximo metro y medio. Por tanto estas distancias son poco relevantes a la hora del cálculo de atenuaciones. El cable usado para este fin es del tipo trenzado pero sin chaqueta exterior (desnudo).

Finalmente se dispone de las regletas de la parte secundaria para continuar el camino de la señal en dirección desde la central hacia el usuario.

El número de armarios de la central son 12 (Ver Figura A.2.). Y se les asignó la siguiente numeración:

- Armario 1: Ubicado en el Km. 10 ½ de la Vía a la Costa, a la entrada de la Cantera San Luis.
- Armario 2 – 11: Ubicados en la Urbanización Puerto Azul, de los cuales los armarios 3, 4 y 5 tienen tendida la red primaria, mas no tienen ningún par asignado a usuarios finales, están de reserva para futuras demandas de la ciudadela.
- Armario 12: Ubicado en la Cooperativa Vicente Rocafuerte

2.1.1.5. Segmento de Red Secundaria

Este segmento está comprendido entre los puntos de conexión del armario y los puntos de conexión en las cajas de dispersión de 10 pares instaladas en los postes.

Se caracteriza por el uso de cables de menor cantidad de pares, con el objetivo de dispersar el recorrido de los pares para llegar a todas las casas. Otro motivo por esto es que permite aligerar el peso que deben soportar los cables mensajeros, esta parte de la red es típico encontrarla aérea en su mayor parte.

A partir de las regletas del armario, cada par dentro del cableado secundario es conectado a su respectivo par en la regleta. Por lo general salen por el mismo orificio inferior de entrada del primario. Luego suben por el poste telefónico más cercano y empiezan su recorrido aéreo.

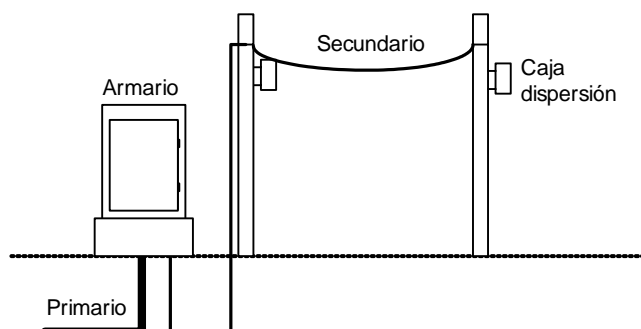


Figura 2.2 Segmento de Red Secundaria

Lo ideal sería realizar todo el recorrido secundario por ductos subterráneos. Así logramos reducir cualquier interferencia externa al mínimo, mejorando la relación señal a ruido de la señal transportada. Es cierto que los cables usan una pantalla de aluminio que les brinda un blindaje adicional, pero algunas veces se puede romper la continuidad del mismo y permitir interferencia no deseada. Este tipo de inconvenientes son difíciles de ubicar en el recorrido del cable.

2.1.1.6. Segmento de Dispersión

Este segmento está comprendido entre la caja de dispersión localizada en el poste y el punto de conexión en la caja mural (strip telefónico) en el lado del cliente.

Cada caja de dispersión consta de una regleta de 10 pares, pero se utilizan solo 8 pares. Este es el punto final del recorrido del cableado secundario. Las cajas de dispersión deben estar ubicadas estratégicamente dentro del área de cobertura para reducir al mínimo el recorrido del último cable instalado por la telefónica en su rutina de "instalación de acometida". Este es un cable por lo general sin

blindaje de ningún tipo, formado por un par de cobre completamente paralelo (sin trenzado).

Este último recorrido desde la caja de dispersión hasta el domicilio del abonado constituye la principal debilidad en materia de ruido externo que puede introducirse en la línea. Si el recorrido de este cable es muy extenso puede actuar como una antena de ondas de radio, perturbando la señal transportada por la empresa telefónica.

2.1.2. Condiciones no deseables en Planta Externa

2.1.2.1. Bridged Taps

Usualmente los técnicos encargados de las instalaciones telefónicas cuando conectan a un nuevo abonado, derivan de un par existente y dejan el resto del cable intacto y abierto para un uso probable en el futuro.

El problema básico es que esta línea queda sin adaptar y que se pueden producir reflexiones que interfieran el correcto funcionamiento de la red. A este problema se la llama bridged tap, y debe solucionarse adaptando correctamente todas las terminaciones.

2.1.2.2. Bobinas de Pupinización

Las bobinas son utilizadas para compensar el efecto capacitivo en líneas muy largas y mantener la calidad de voz. El número de bobinas depende de la longitud del cable. Sin embargo éstas bobinas representan un gran problema

para el servicio ADSL ya que atenúan las frecuencias que se encuentran por encima del espectro utilizado para la voz que es el que utiliza ADSL.

En los planos de la Planta Externa de la Central de Puerto Azul no se especifica la presencia de éstas bobinas, sin embargo se puede detectar la presencia de las bobinas con un detector de bobinas de carga, que cuenta cuántas hay en la línea (por resonancia). En caso de que se detecte alguna bobina, se utiliza un reflectómetro para ubicar la posición de la primera bobina y enviar un técnico a que la retire. Este proceso debe repetirse hasta que todas las bobinas sean eliminadas, caso contrario no se podrá brindar el servicio ADSL.

2.2. Análisis de la línea de Transmisión

Teóricamente con la tecnología ADSL se puede tener un ancho de banda de 6.144 Mbps en el canal de bajada (Downstream) y 640 Kbps en el canal de subida (Upstream) [8]. Sin embargo, estos valores son para un caso ideal. En la práctica, la línea de transmisión se ve afectada por imperfecciones que disminuyen el ancho de banda disponible para transmisiones ADSL.

A continuación se analizarán varios factores que inciden en la línea de transmisión y se presentarán cálculos teóricos de los mismos aplicados a la red de la Central Telefónica de Puerto Azul.

2.2.1. Atenuación

La atenuación es una de las limitantes principales en la implementación de ADSL.

Esta aumenta directamente con la distancia que debe recorrer la señal hasta llegar a su destino, y tiene distintos valores dependiendo del medio de transmisión.

Se tomaron en cuenta las constantes principales **[8]**, **[9]**: Resistencia (R), Inductancia (L), Conductancia (G)⁴ y Capacitancia (C). Puesto que ADSL trabaja en un rango de frecuencias que va desde los 0 Hz hasta 1.1 MHz, los valores de R y L varían con la frecuencia, por lo que se tendrán atenuaciones mayores en las subcanales que se encuentran a frecuencias más altas. Los valores de R y L se calculan de la siguiente manera **[8]**:

$$R(f) = \sqrt[4]{r_{0c}^4 + a_c \times f^2} \qquad L(f) = \frac{l_0 + l_\infty \times (f / f_m)^b}{1 + (f / f_m)^b}$$

Ecuación 2.1. Cálculo De Parámetros R Y L

Donde para el tipo de cable utilizado en la Central de Puerto Azul que es de 0.4mm de diámetro los valores de las constantes son los siguientes:

$$r_{0c} = 0.2800 \text{ (K}\Omega\text{/Km)}$$

$$a_c = 0.0969$$

$$l_0 = 0.5873 \text{ (mH/Km)}$$

$$l_\infty = 0.4260 \text{ (K}\Omega\text{/Km)}$$

⁴ Para los cálculos el valor de G se asume como 0 por recomendación del estándar ya que es relativamente pequeño en el tipo de cable utilizado

$$f_m = 0.7459 \text{ (MHz)}$$

$$b = 1.3850$$

El valor de la Capacitancia (C) se considera constante a la variación de la frecuencia, en el estándar se indica que este valor es de 50 nF/Km, sin embargo el valor medio de C del cable instalado en la Central de Puerto Azul es de 52 nF/Km, y es el que hemos utilizado en nuestros cálculos.

Una vez obtenidos los valores de R y L, procedemos a calcular la atenuación. La atenuación de la línea en baja frecuencia (300 a 3400 Hz) no está influenciada por la reactancia inductiva, dado que la inductancia es despreciable respecto a la resistencia óhmica del conductor, y está dada por la siguiente expresión:

$$At = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} * 8,686 = dB$$

Ecuación 2.2. Atenuación Para Frecuencias Menores a 3.4 Khz

Sin embargo, como ADSL utiliza frecuencias mayores para transmitir la información, al aumentar la frecuencia en la línea, aparece el parámetro de inductancia, que intenta anular la capacitancia, de manera que la atenuación a frecuencias mayores que 3400 Hz está dada por:

$$At = \frac{R}{2} * \sqrt{\frac{C}{L}} * 8,686 = dB$$

Ecuación 2.3. Atenuación Para Frecuencias Mayores A 3.4 Khz.

En base a esto se obtuvieron los resultados de la Tabla 2.2. para ciertos valores dentro del rango de frecuencias sobre el que trabaja ADSL. En la Figura 2.3. se puede ver la curva de atenuación en dB/Km para todo el espectro de ADSL para un cable sin empalme.

f (KHZ)	R (K Ω /Km)	L (H/Km)	C (nF/Km)	Atenuación (dB/Km)
0,00	0,280	0,587	52,000	0,000
0,80	0,280	0,587	52,000	1,662
2,50	0,280	0,587	52,000	2,937
10,00	0,280	0,587	52,000	11,451
20,00	0,280	0,586	52,000	11,471
30,00	0,281	0,585	52,000	11,501
40,00	0,282	0,585	52,000	11,541
50,00	0,283	0,584	52,000	11,590
100,00	0,290	0,578	52,000	11,965
150,00	0,302	0,572	52,000	12,514
200,00	0,316	0,565	52,000	13,184
250,00	0,332	0,558	52,000	13,932
300,00	0,349	0,552	52,000	14,723
350,00	0,366	0,545	52,000	15,536
400,00	0,384	0,539	52,000	16,356
450,00	0,401	0,534	52,000	17,175
500,00	0,417	0,528	52,000	17,985
550,00	0,434	0,523	52,000	18,784
600,00	0,450	0,519	52,000	19,571
650,00	0,466	0,514	52,000	20,342
700,00	0,481	0,510	52,000	21,099
750,00	0,496	0,506	52,000	21,841
800,00	0,511	0,503	52,000	22,569
850,00	0,525	0,499	52,000	23,281
900,00	0,539	0,496	52,000	23,980
950,00	0,553	0,493	52,000	24,664
1.000,00	0,567	0,490	52,000	25,336
1.050,00	0,580	0,488	52,000	25,994
1.100,00	0,593	0,485	52,000	26,640

Tabla 2.2. Valores de Atenuación para cable de cobre de 0.4mm

Puesto que los valores de atenuación obtenidos son para distancias de 1 Km y lo que queremos ver es la atenuación que se tiene hasta los usuarios finales, se solicitaron los planos de la planta externa de la Central Telefónica de Puerto Azul, a partir de los cuales se obtuvieron las distancias de la red primaria y la red secundaria. Cabe recalcar que las distancias para la red secundaria solamente se midieron hasta las cajas de dispersión, a partir de donde se toman los pares que van a los usuarios finales. Esta distancia es variable dependiendo de la ubicación del usuario final hasta la caja de dispersión, pero se la considera despreciable, puesto que la norma establece que no debe ser mayor a 10m.

En la tabla B.1., se presenta un resumen con las distancias obtenidas para la Red Primaria y la Secundaria de la Central Telefónica y además están los valores de atenuación para frecuencias entre 0 y 1100 KHz, que es el rango utilizado en ADSL.

Sin embargo la distancia no es la única que influye en la atenuación de la señal. La presencia de empalmes también provoca atenuación en la línea. Para nuestro análisis, se establece como norma que la resistencia de una muestra de 150 mm. de longitud de conductor con empalme no será mayor del 105% de otra muestra igual de conductor sin empalme [10]. Siendo este porcentaje el peor de los casos, se trabajó con estos nuevos valores de resistencia (R) para calcular la atenuación producida por un solo empalme. Los valores de la Inductancia (L) y Capacitancia (C) se consideran constantes para el cálculo, y son los mismos presentados en la Tabla 2.2. Con los nuevos valores de atenuación (con empalme) se pudo obtener la variación con respecto a una línea sin empalme.

Los valores de atenuación de cada empalme para el rango de frecuencias de trabajo de ADSL son los que se presentan en la tabla 2.3., y en La Figura 2.3. se presentan

las curvas de atenuación en el par de cobre para una línea sin empalme y con empalme en 1 Km.

f (KHZ)	r (K Ω /Km)	Atenuación en línea con empalme (dB/Km)	Atenuación en línea sin empalme (dB/Km)	Δ Atenuación (dB/empalme)
0.00	0.294	0.000	0.000	0.000
0.80	0.294	1.703	1.662	0.041
2.50	0.294	3.010	2.937	0.073
10.00	0.294	12.024	11.451	0.573
20.00	0.294	12.044	11.471	0.574
30.00	0.295	12.076	11.501	0.575
40.00	0.296	12.118	11.541	0.577
50.00	0.297	12.170	11.590	0.580
100.00	0.305	12.563	11.965	0.598
150.00	0.317	13.140	12.514	0.626
200.00	0.332	13.844	13.184	0.659
250.00	0.349	14.628	13.932	0.697
300.00	0.367	15.459	14.723	0.736
350.00	0.385	16.313	15.536	0.777
400.00	0.403	17.174	16.356	0.818
450.00	0.421	18.033	17.175	0.859
500.00	0.438	18.884	17.985	0.899
550.00	0.456	19.724	18.784	0.939
600.00	0.473	20.549	19.571	0.979
650.00	0.489	21.360	20.342	1.017
700.00	0.505	22.154	21.099	1.055
750.00	0.521	22.934	21.841	1.092
800.00	0.537	23.697	22.569	1.128
850.00	0.552	24.445	23.281	1.164
900.00	0.566	25.179	23.980	1.199
950.00	0.581	25.897	24.664	1.233
1,000.00	0.595	26.602	25.336	1.267
1,050.00	0.609	27.294	25.994	1.300
1,100.00	0.622	27.972	26.640	1.332

Tabla 2.3. Valores de Atenuación para cables de cobre de 0.4mm con empalme

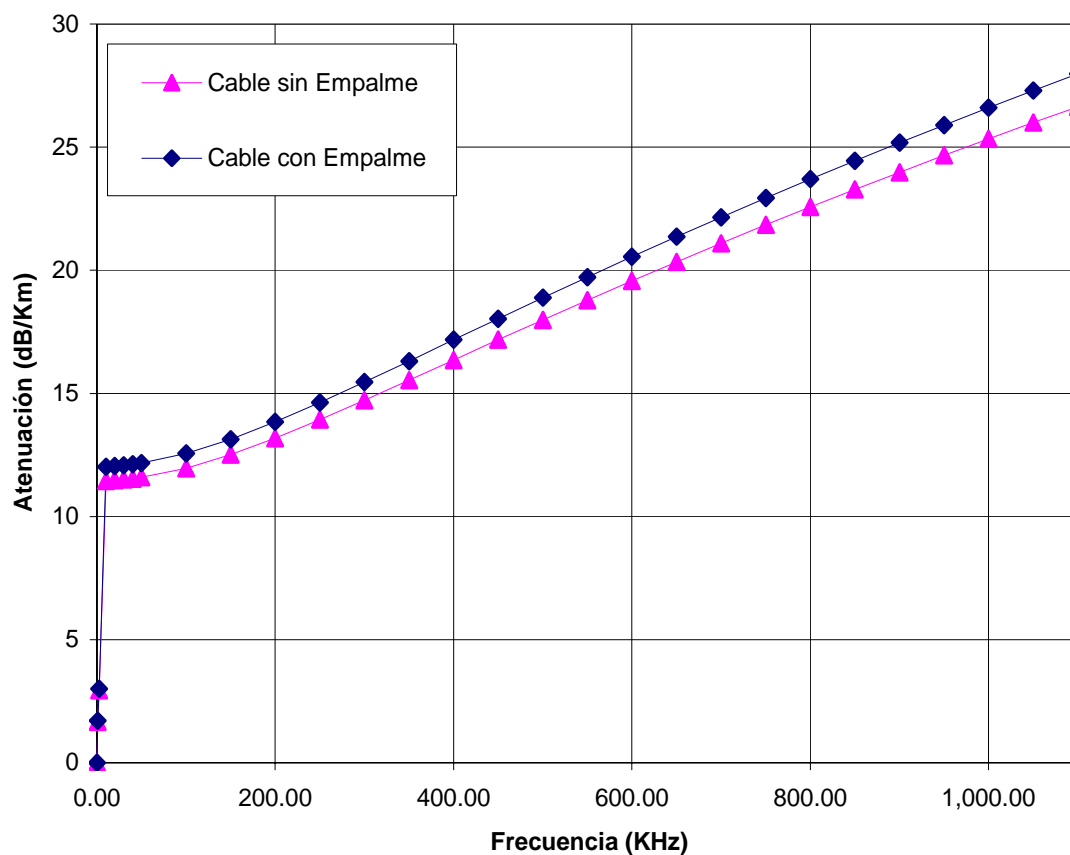


Figura 2.3. Atenuación en cable de cobre sin empalme y con empalme

Con el Δ Atenuación obtenido, se procedió a calcular la atenuación que introducen todos los empalmes presentes en la Planta Externa. Para ello se hizo un conteo en cada una de las rutas existentes tanto de la red Primaria como de la Secundaria, para obtener el número de empalmes. En la tabla B.2. se presenta el número total de empalmes para cada caja de dispersión desde la Central con la atenuación que producen.

Finalmente se suman los valores de atenuación obtenidos respecto a la distancia y por la presencia de empalmes para obtener la atenuación total presente en la línea hasta las cajas de dispersión.

El estándar [14] recomienda que los niveles de atenuación aceptables para ADSL vayan de 0 a 63.5 dB. Como en ADSL tenemos los 256 sub-canales por los que se pueden enviar datos, cada uno de estos canales se lo analiza como canal independiente, y aquellos canales que presenten atenuaciones mayores a 63.5 dB ya no podrán transportar información. En la tabla B.3. donde se presentan los valores de atenuación total (atenuación por distancia y por empalmes) para cada ruta podemos observar que los casos más críticos se presentan justamente en las frecuencias más altas, por lo que nuestra red estará limitada en la capacidad para el canal de bajada. Además hay armarios como el 10 y el 11 que no están limitados por la atenuación en ninguna frecuencia. De color gris se encuentran marcadas las frecuencias a las cuales ya no se puede transmitir datos.

En la Figura 2.4. se presentan las curvas de atenuación para el caso más crítico (mayor atenuación) de cada uno de los armarios de la Central, siendo el Armario 6 el que tiene mayor atenuación, puesto que las distancias de la Central a los usuarios finales servidos por el mismo son las más largas de toda la planta externa. Con el límite de 63.5 dB de atenuación, los usuarios de este armario que pertenecen a la caja de dispersión E1 (Ver Tabla B.3.) solamente podrán utilizar los sub-canales menores a 610 KHz para transmitir información.

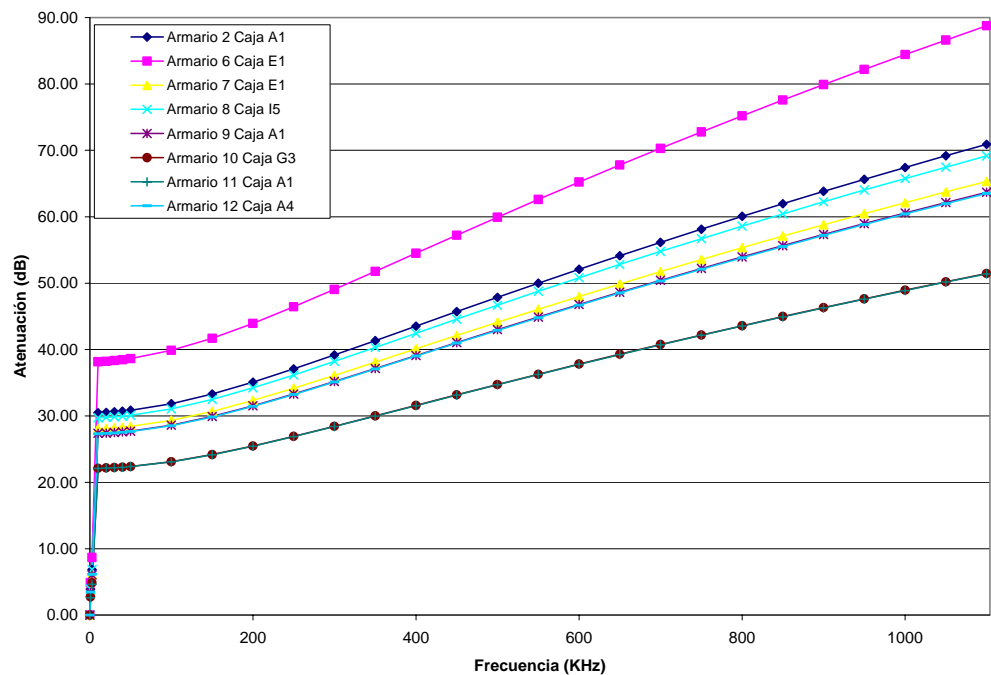
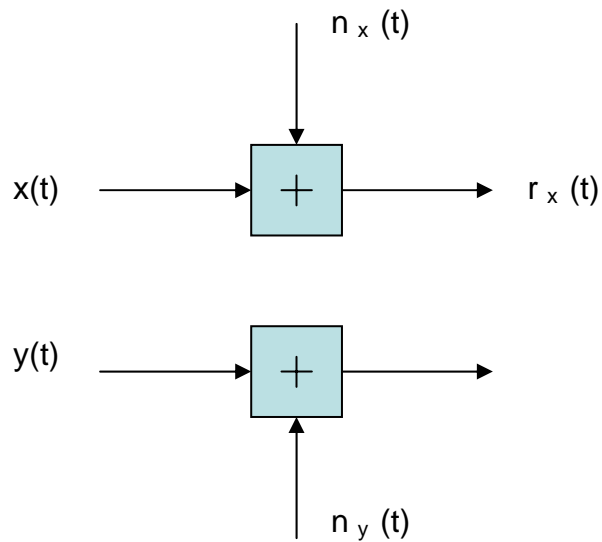


Figura 2.4. Valores de Atenuación más altos para cada Armario de la Central

2.2.2. Ruido Blanco Gaussiano (RBG)

El ruido blanco Gaussiano es una clase especial de ruido. Se caracteriza porque tiene un espectro plano, con una Densidad Espectral de Potencia (PSD, por sus siglas en inglés) de $N_0/2$ en la banda de transmisión [11]. Para calcular la potencia total del ruido se multiplica la PSD por el correspondiente ancho de banda.

El Ruido Blanco Gaussiano normalmente se representa con el siguiente modelo:



$x(t), y(t)$	Señales transmitidas
$n_x(t), n_y(t)$	Ruido Blanco Gaussiano
$r_x(t), r_y(t)$	Señales recibidas

Figura 2.5. Modelo de Ruido Blanco Gaussiano

Como se observa en el modelo, el ruido se suma a la señal transmitida. En este caso para un esquema bidimensional que es el que se utiliza en los sub-canales DMT (portadora QAM).

El Ruido Blanco Gaussiano (RBG) es el resultado del Ruido térmico y el Ruido Impulsivo.

El *Ruido Térmico* se produce al interior de cada conductor debido al movimiento de los electrones. La intensidad de dicho movimiento es lo que determina el valor del ruido y depende de la temperatura a la que se encuentre el material.

El *Ruido Impulsivo* tiene su origen en varias fuentes: descargas en redes de suministro eléctrico, a menudo localizadas en los mismos postes o conductos que el cable de la red; descargas entre contactos de conectores oxidados; sistema de encendido de automóviles; y aparatos domésticos tales como motores eléctricos. Consiste en estrechos picos de señal de amplitud generalmente grande, que afectan a todo el espectro. Su densidad espectral de potencia disminuye con la frecuencia, por lo que su efecto en el canal descendente es considerablemente menor. Su origen puede ser externo o interno a la propia red, siendo este último tipo de ruido impulsivo el que más afecta a las prestaciones del canal de retorno.

Además hay otras dos contribuciones de ruido que se pueden considerar como ruido blanco. Estas son el Ruido de Cuantización y el Ruido Residual de Eco.

El *Ruido de Cuantización* es el que se origina en los sistemas digitales al no ser capaces de representar señales análogas con tanta precisión. Este error de precisión en los equipos de digitalización (cuantización de la señal) produce un ruido blanco adicional. El nivel del ruido de cuantización disminuye mientras mayor sea el número de escalones, de modo que se pueda obtener una representación más precisa de la señal analógica.

El *Ruido Residual de Eco* es la parte de la interferencia de eco que permanece en la señal después de la cancelación de eco. En un canal que permanece constante en el tiempo parte de este ruido es causado por los efectos de cuantización, cuando ésta se realiza antes de la cancelación de eco. Este problema es mayor cuando los escalones son relativamente pequeños y la amplitud del eco puede ser en algunas ocasiones mayor a la de la señal recibida. El Ruido Residual de Eco también se puede aproximar como ruido blanco sobre la banda transmitida. Los niveles están entre 60 y 70 dB por debajo del nivel de la potencia transmitida.

Muchas de las fuentes del RBG pueden ser controlables con un buen diseño en el receptor. Los ruidos térmico e impulsivo se limitan utilizando estructuras especiales en el lado del receptor, mientras que los ruidos de cuantización y residual de eco se pueden disminuir con convertidores A/D lo suficientemente precisos y canceladores de eco respectivamente.

Cabe recalcar que el RBG se convierte en la principal limitante de la capacidad de datos en ambientes en los que no hay interferencia, mientras que cuando se tienen ambientes dominados por interferencia⁵ (NEXT; FEXT) el RBG tiene mayor incidencia en las bajas frecuencias, en donde la interferencia todavía es baja pero al incrementar la frecuencia el ruido por interferencia llega a ser dominante y el RBG se considera despreciable.

Los valores que se le dan al RBG están comprendidos en un rango de -170 a -140 dBm/Hz. Sin embargo -140 dBm/Hz es el valor comúnmente utilizado para ADSL, que no incluye el Ruido Residual de Eco puesto que por la naturaleza asimétrica de ADSL se presenta solo a ciertas frecuencias. Alcanzar este nivel de ruido es un reto crucial para los diseñadores análogos porque con un bucle de mas de 6 Km, cada decibelio sobre -140dBm/Hz le resta aproximadamente 150kbps a la tasa del canal de bajada (downstream) [12].

2.2.3. Interferencia (Crosstalk)

La interferencia o crosstalk entre pares de un cable multi-par es el motivo principal del empeoramiento en cualquier sistema DSL. La interferencia se produce por el desbalance en el acoplamiento capacitivo e inductivo entre los pares.

⁵ Ver la sección 2.2.3

Si un par se considera como interferente, el voltaje y corriente inducidos en los otros pares viajan en dos direcciones. Unos siguen la misma dirección de los otros pares y aparece al extremo opuesto de donde está la fuente de interferencia, esta se conoce como Far-End Crosstalk (FEXT); otros viajan en dirección hacia la fuente interferente, esta se conoce como Near End Crosstalk (NEXT), estos efectos se pueden ver en la Figura 2.6. Si un sistema ADSL presenta tanto NEXT como FEXT, los efectos del NEXT en general son más severos.

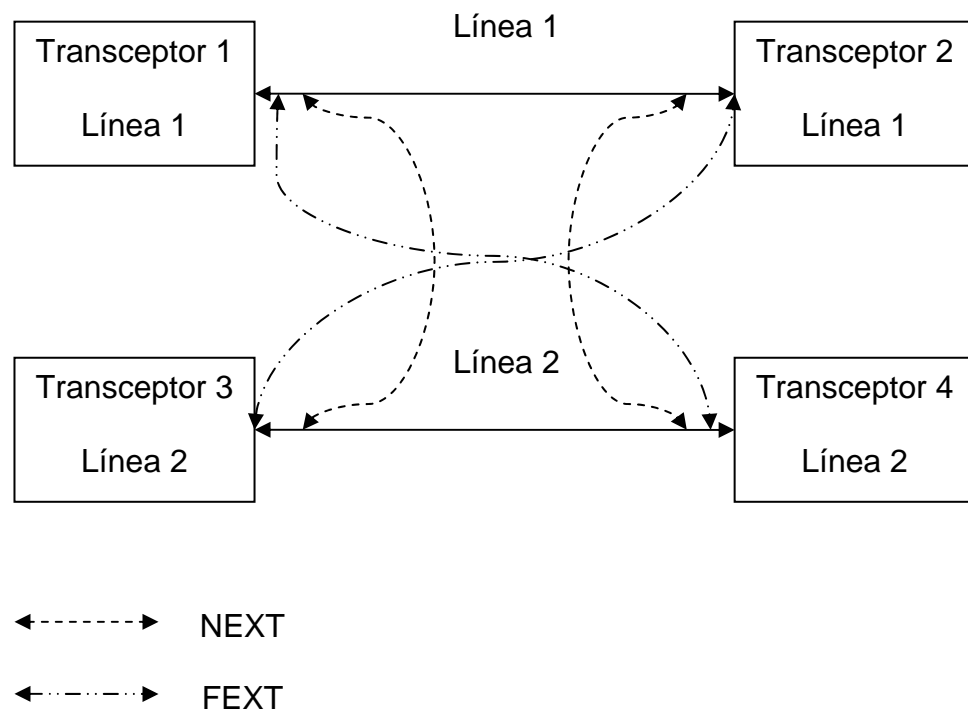


Figura 2.6. Modelo de Interferencia

En los dos apartados siguientes se harán los respectivos cálculos del NEXT y FEXT [13]. Para ello se utilizará la Densidad Espectral de Potencia (PSD) de Interferentes ADSL la cual se muestra a continuación:

- **PSD ADSL Disturber (Downstream)**

$$PSD_{ADSL-Disturber} = K_{ADSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\text{sen}\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times |LPF(f)|^2 \times |HPF(f)|^2, \quad 0 \leq f < \infty$$

Ecuación 2.4. PSD de Pares Interferentes para el canal Downstream

Donde

$$f_0 = 2.208 \times 10^6 \text{ Hz},$$

$$K_{ADSL} = 0.1104 \text{ Watts},$$

f_0 es la frecuencia de muestreo en Hz, K_{ADSL} es la potencia total Transmitida en Vatios para el transmisor Downstream ADSL antes de los filtros, y se fija de modo que la PSD ADSL no exceda la PSD máxima permitida.

$$|LPF(f)|^2 = \frac{f_h^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_h = 1.104 \times 10^6 \text{ Hz}, \alpha = \frac{36}{10 \log(2)} = 11.96$$

Ecuación 2.5. Filtro Pasa-Bajos para canal Downstream ADSL

$$|HPF(f)|^2 = \frac{f^\alpha + f_l^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_l = 4000 \text{ Hz}, f_h = 25875 \text{ Hz}, \alpha = \frac{57.5}{10 \log \frac{f_h}{f_l}} = 7.09$$

Ecuación 2.6. Filtro Pasa-Altos para canal Downstream ADSL

El Filtro Pasa-Altos separa la señal ADSL de la señal de voz (POTS).

Con estos parámetros la $PSD_{ADSL-Disturber}$ es la PSD de un transmisor downstream que utiliza todas las sub-portadoras.

- **PSD Disturber Upstream**

$$PSD_{ADSL-Disturber} = K_{ADSL} \times \frac{2}{f_0} \times \frac{\left[\text{sen}\left(\frac{\pi f}{f_0}\right) \right]^2}{\left(\frac{\pi f}{f_0}\right)^2} \times |LPF(f)|^2 \times |HPF(f)|^2, \quad 0 \leq f < \infty$$

Ecuación 2.7. PSD de Pares Interferentes para el canal Upstream ADSL

Donde

$$f_0 = 276 \times 10^3 \text{ Hz},$$

$$K_{ADSL} = 0.0437 \text{ Watt},$$

f_0 es la frecuencia de muestreo en Hz, K_{ADSL} es la potencia total Transmitida en Vatios para el transmisor Upstream ADSL antes de los filtros, y se fija de modo que la PSD ADSL no exceda la PSD máxima permitida.

$$|LPF(f)|^2 = \frac{f_h^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_h = 138 \times 10^3 \text{ Hz}, \alpha = \frac{24}{10 \log(181.125/138)} = 20.32$$

Ecuación 2.8. Filtro Pasa-Bajos para canal Upstream ADSL

$$|HPF(f)|^2 = \frac{f^h + f_l^\alpha}{f^\alpha + f_h^\alpha}, f_l = 4000Hz, f_h = 25875Hz, \alpha = \frac{59.5}{10 \log \frac{f_h}{f_l}} = 7.34$$

Ecuación 2.9. Filtro Pasa-Altos para canal Upstream ADSL

2.2.3.1. Near-End Crosstalk (NEXT)

Es el tipo de interferencia más fuerte, pero también es el más fácil de evitar. Se lo puede eliminar utilizando sistemas de modulación que no utilicen la misma banda de frecuencia para enviar y recibir (como FDM). Sin embargo el esquema más utilizado en ADSL es el de cancelación de eco que utiliza la banda de frecuencia del Upstream también para enviar datos en sentido Downstream, por lo que se hace necesario incluir el NEXT en el diseño de la red ADSL.

Típicamente la Función de Transferencia de Potencia del NEXT es independiente de la longitud de la línea pero se incrementa con la frecuencia (como se puede ver en la ecuación 2.10.) a una razón de 15 dB por década.

$$|H_{NEXT}|^2 = x_n \times f^{3/2} \quad \text{Para } 0 \leq f < \infty, n < 50$$

Ecuación 2.10. Función de Transferencia de Potencia NEXT

Donde:

X_n es una constante que depende del tipo de cable que se utiliza, para nuestro

caso $X_n = 8.818 \times 10^{-14} \times (n/49)^{0.6}$ o su equivalente, $X_n = 0.8536 \times 10^{-14} \times n^{0.6}$

n es el número de pares interferentes.

La PSD del NEXT ADSL será entonces:

$$PSD_{ADSL-NEXT} = |H_{NEXT}|^2 \times PSD_{ADSL-Disturber}$$

Ecuación 2.11. PSD del NEXT en una señal ADSL

Las Ecuaciones 2.10. y 2.11. se utilizan tanto para el canal Downstream como el Upwntstream, utilizando la respectiva $PSD_{ADSL-Disturber}$ de las ecuaciones 2.4. y 2.7. respectivamente.

En las figuras 2.7 y 2.8 se presentan las curvas de la PSD del NEXT para diferentes valores de n . Como los cables que se utilizan en la Central están formados por unidades principales de 50 pares, y en las cajas de dispersión el número máximo de pares son 10, trabajaremos con valores de n iguales a 9, 19, 29, 39 y 49.

En la Figura 2.7. tenemos la PSD provocada por n pares Interferentes que transmiten en el sentido Downstream y que provocan NEXT en el canal Upstream (este es el NEXT que vemos en el lado del abonado). Mientras que en la Figura 2.8. se presentan las curvas de PSD de n pares Interferentes que transmiten en el sentido Upstream y que generan NEXT en el canal Downstream (medida en el lado de la central telefónica).

Como se puede observar en las gráficas la PSD varía aproximadamente 5 dB cuando se incrementan los pares interferentes de 9 a 49. Considerando el peor de los casos que sería tener 49 pares interferentes, el nivel de interferencia causado por el NEXT es 55 (Figura 2.7.) y 45 (Figura 2.8.) dB aproximadamente por encima del nivel del Ruido Blanco Gaussiano (RBG) para el rango de frecuencias de cada gráfica, por lo que como se dijo anteriormente el RBG se puede considerar despreciable en estas bandas. Sin embargo en la Figura 2.8., para frecuencias altas se observa que no hay NEXT, por lo que aquí si debe considerarse al RBG como factor limitante. Para poder determinar el impacto real del RBG también es necesario analizar el comportamiento del FEXT que se analiza en la siguiente sección.

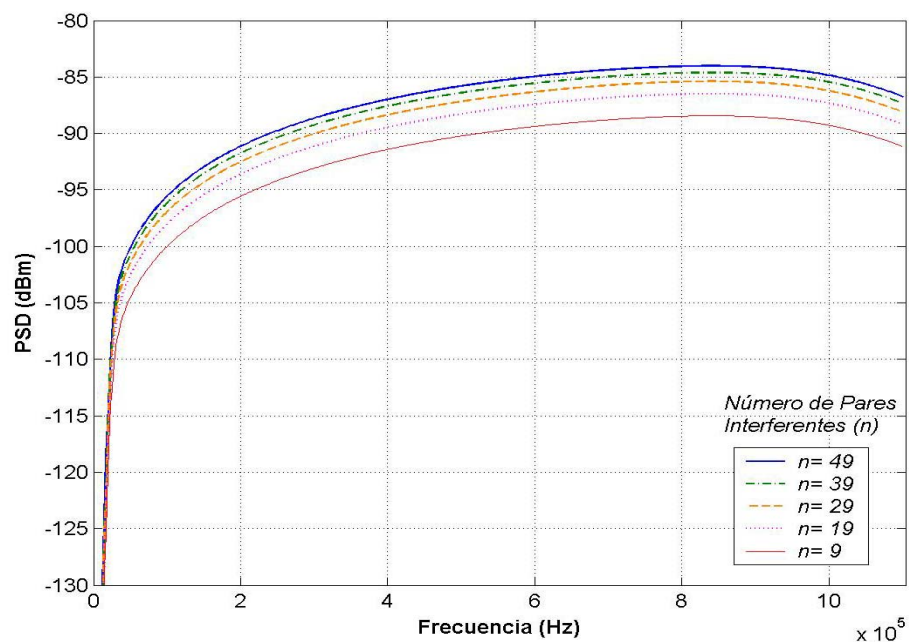


Figura 2.7. PSD del NEXT de n Pares Interferentes en el Canal Upstream

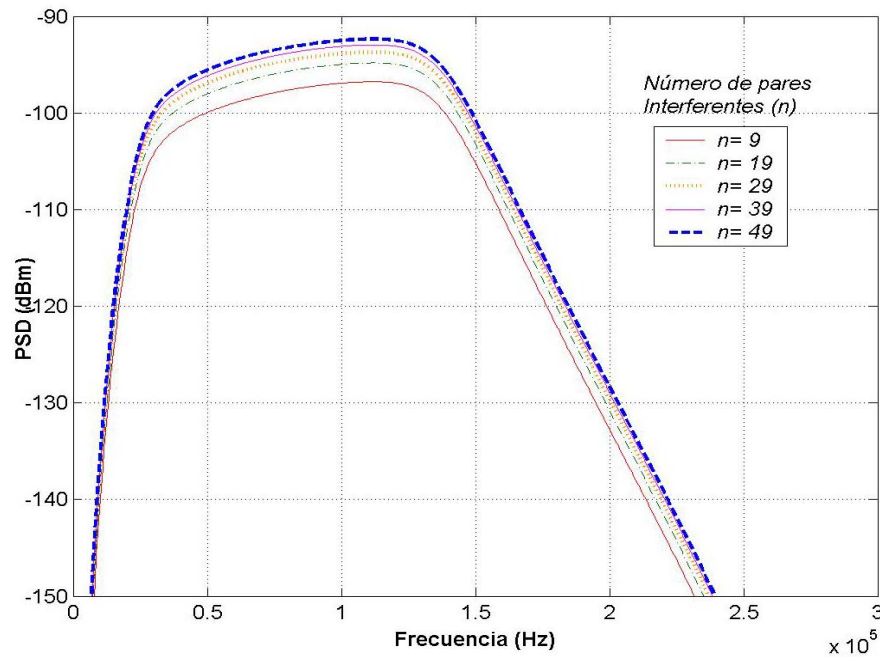


Figura 2.8. PSD del NEXT de n Pares Interferentes en el Canal Downstream

2.2.3.2. Far-End Crosstalk (FEXT)

El FEXT es otra forma de interferencia, usualmente más débil que el NEXT. Las características generales del NEXT son en parte similares a las del NEXT. La principal diferencia es que el FEXT depende de la función de transferencia del canal (par de cobre) puesto que la señal interferente tiene que viajar a través del medio hasta llegar al extremo opuesto, por lo mismo también depende de la longitud de la línea.

La interferencia del FEXT se incrementa 10 dB por década con la longitud de la línea y 20 dB por década con la frecuencia (ver ecuación 2.12.). A lo largo de la línea la señal interferente sufre la misma atenuación que la señal transmitida, por lo que el FEXT sufre la misma atenuación.

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{canal}(f)|^2 \times k \times l \times f^2 \quad \text{Para } 0 \leq f < \infty ; n < 50$$

Ecuación 2.12. Función de Transferencia de Potencia del FEXT

Donde

$H_{canal}(f)$ es la función de transferencia del canal (Ver Anexo D),

k es la constante de acoplamiento igual a $8 \times 10^{-20} \times (n/49)$

l es la longitud del camino recorrido (Km),

f es la frecuencia en Hz

La PSD del FEXT se calcula con la ecuación 2.13. Para calcular el FEXT en el canal downstream y upstream se utiliza la $PSD_{ADSL-Disturber}$ de las ecuaciones 2.4. y 2.7. respectivamente.

$$PSD_{ADSL-FEXT} = PSD_{ADSL-Disturber} \times |H_{FEXT}(f)|^2$$

Ecuación 2.13. PSD del FEXT en una señal ADSL

En las figuras 2.9.(a y b) y 2.10. (a y b) se presentan las gráficas de la PSD del FEXT. La figura 2.9a es para el caso de 49 pares interferentes (el máximo número de pares que se tiene en los cables de la Central) y la figura 2.9b para 9 pares interferentes, ambos casos para el Downstream; las figuras 2.10a y 2.10b son también para 49 y 9 pares interferentes respectivamente pero para el canal Upstream. Las curvas que se presentan en cada una de las gráficas son para

distintos valores de longitud de la línea. Como se puede observar, el FEXT es mayor mientras menor es la longitud de la línea, esto se debe a que mientras más distancia recorre la señal interferente ésta se atenúa más. Por este motivo a distancias muy cortas el FEXT tiene un fuerte impacto en la señal transmitida (en nuestro caso la distancia más corta es de 0.7 Km). Otro parámetro que hace variar el nivel del FEXT es el número de pares interferentes, sin embargo esta variación no es muy grande, apenas de 4 a 5 dB como se puede observar en las gráficas.

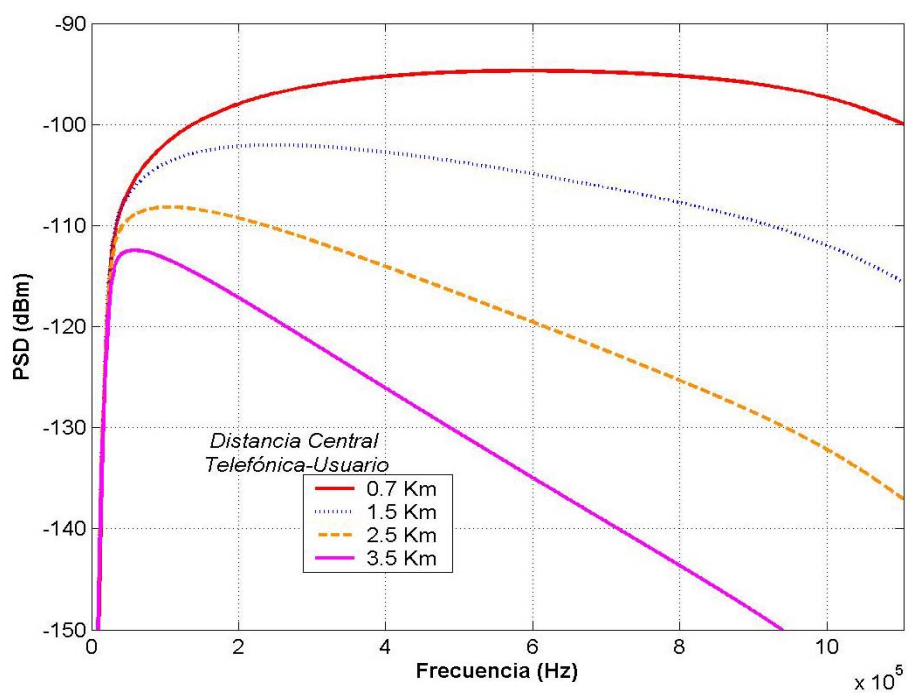


Figura 2.9a: PSD del FEXT en el Downstream con $n = 49$ pares interferentes

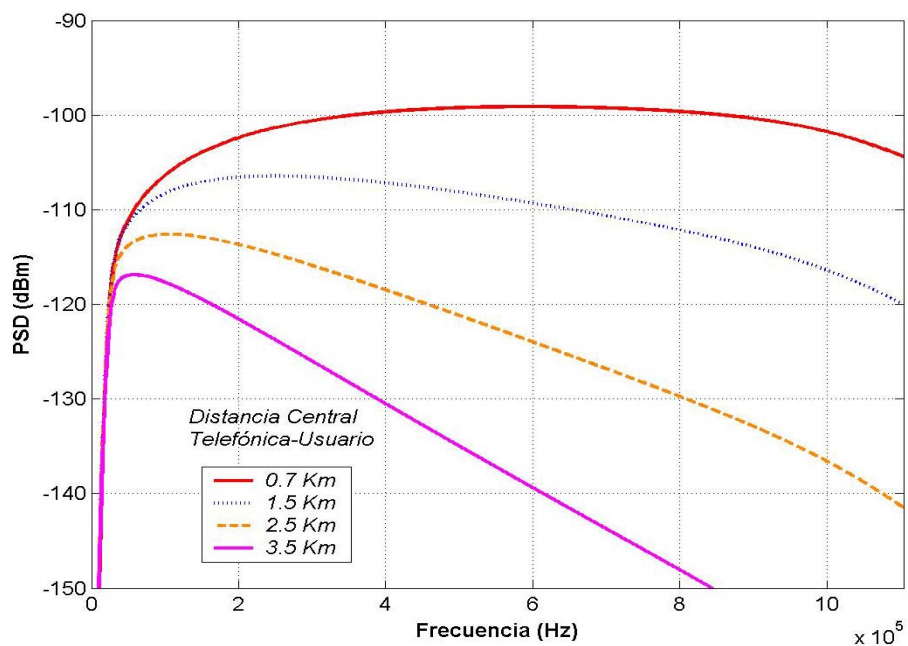


Figura 2.9b. PSD del FEXT en el Downstream con $n = 9$ pares interferentes

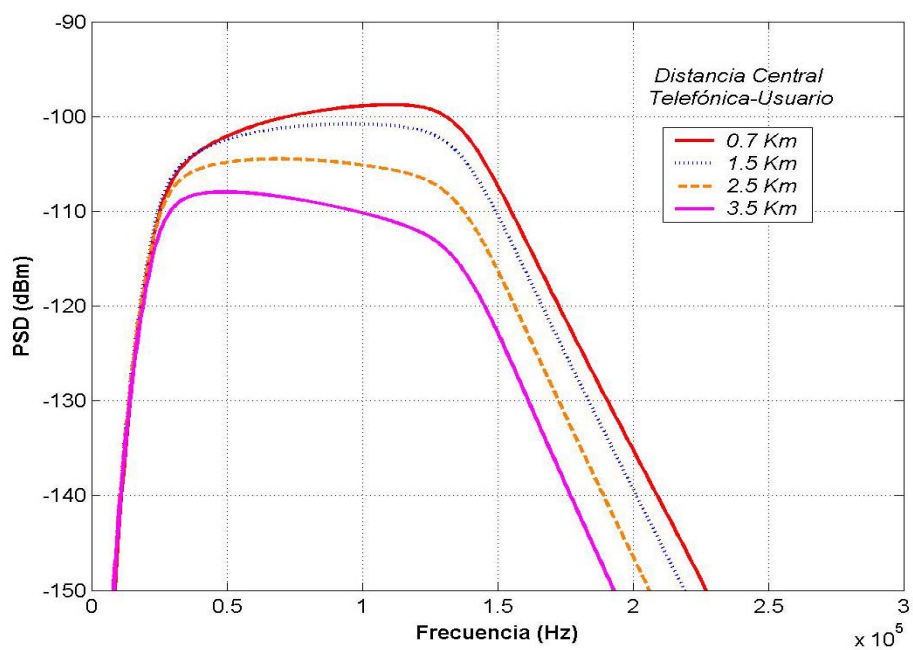


Figura 2.10a. PSD del FEXT en el Upstream con $n = 49$ pares interferentes

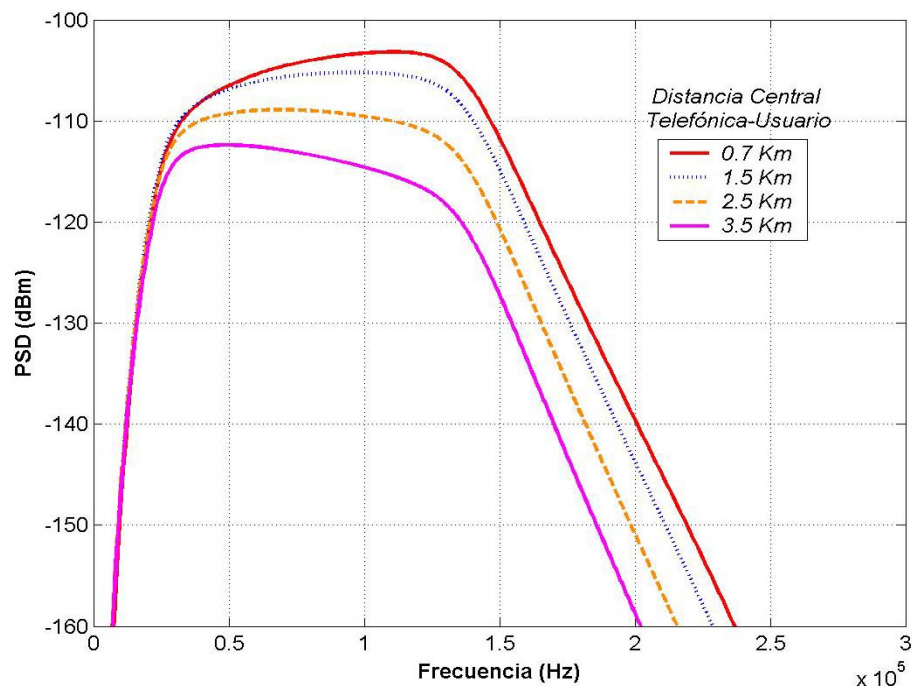


Figura 2.10b: PSD del FEXT en el Upstream con $n = 9$ pares interferentes

Puesto que el FEXT depende de la función de transferencia del canal, en las figuras se ve que el FEXT crece hasta ciertas frecuencias, y luego su valor empieza a descender, este efecto es más notorio en las curvas para longitudes de línea mayores (3.5 y 2.5 Km). Este comportamiento se debe a que la atenuación se incrementa rápidamente a frecuencias altas, por lo tanto la señal se atenúa más.

Al comparar las figuras 2.9 y 2.7 se observa que el valor del FEXT es menor que el NEXT. Esta diferencia aumenta conforme se incrementa la longitud de la línea por lo que con líneas muy largas el FEXT se hace despreciable en comparación con el NEXT, mientras que en líneas cortas el FEXT si debe considerarse.

En las figuras 2.11. y 2.12. se presenta la Densidad Espectral de Potencia (PSD) Total del Ruido ocasionado por el Ruido Blanco Gaussiano, el NEXT y el FEXT. Como se puede observar para el canal Downstream (figuras 2.11a y 2.11b) hasta los 200 KHz la PSD está dominada totalmente por el NEXT, sin embargo para mayores frecuencias es el valor del FEXT el que predomina. En la figura 2.11a se tienen las curvas para valores de n de 9 y 49 pares interferentes en una línea de 1 Km de longitud, la diferencia es apenas de 4 dBm/Hz. En la figura 2.11b se presentan las curvas de la PSD del ruido para diferentes longitudes de una línea con 9 pares interferentes, para frecuencias mayores a 200 KHz el valor del FEXT es el que predomina, sin embargo conforme aumenta la longitud de la línea y el FEXT disminuye el Ruido Blanco Gaussiano es el que predomina. En la Figura 2.12. se presenta la PSD del ruido para el canal Upstream, como el NEXT es el valor más alto para todas las frecuencias del canal, el FEXT y el RBG se consideran despreciables ya que su incidencia en el ruido total es mínima, por este motivo el ruido en el usptream es independiente de la longitud de la línea, y solo se ve afectado por el número de pares interferentes como se muestra en la figura.

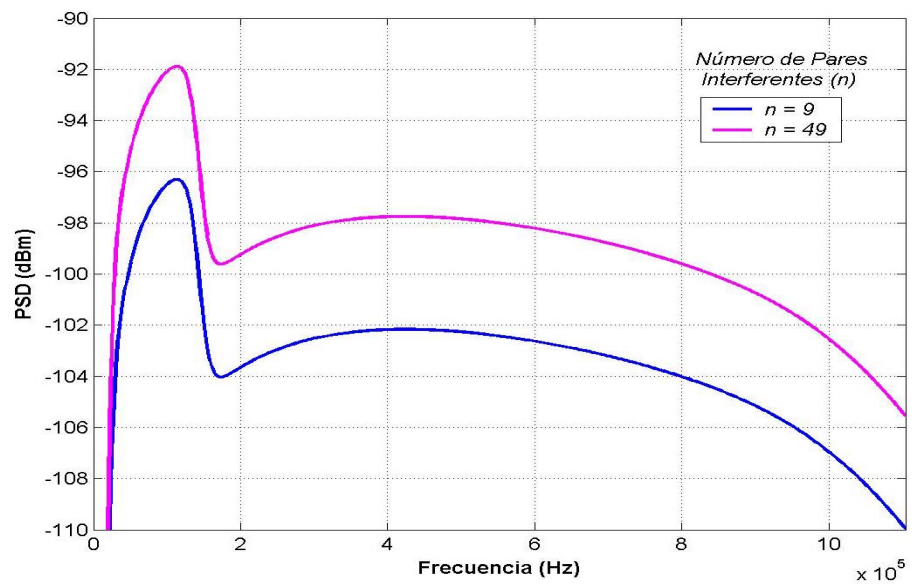


Figura 2.11a: PSD Total del Ruido para el Downstream (NEXT, FEXT y RBG) en una línea de 1 Km para 9 y 49 pares interferentes.

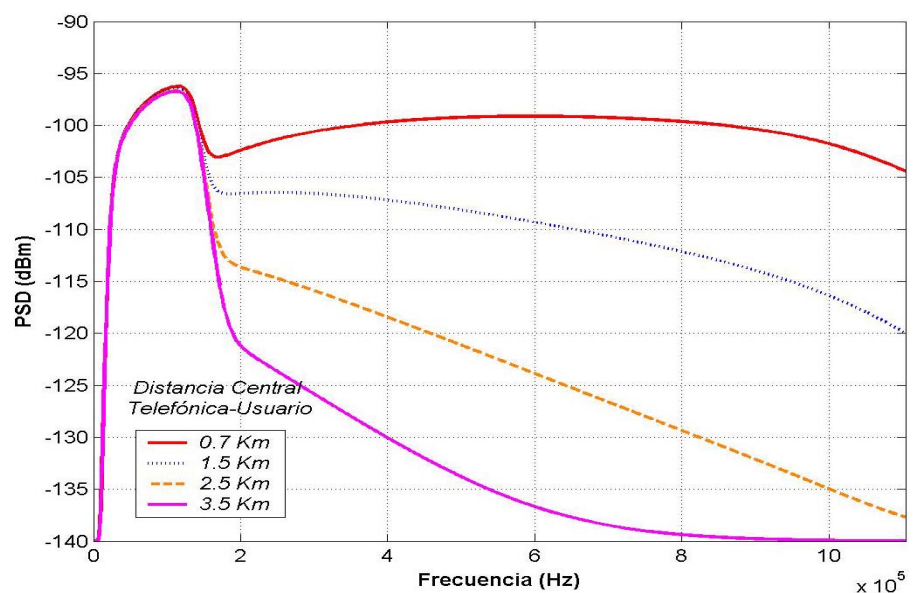


Figura 2.11b: PSD Total del Ruido para el canal Downstream (NEXT, FEXT y RBG) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes.

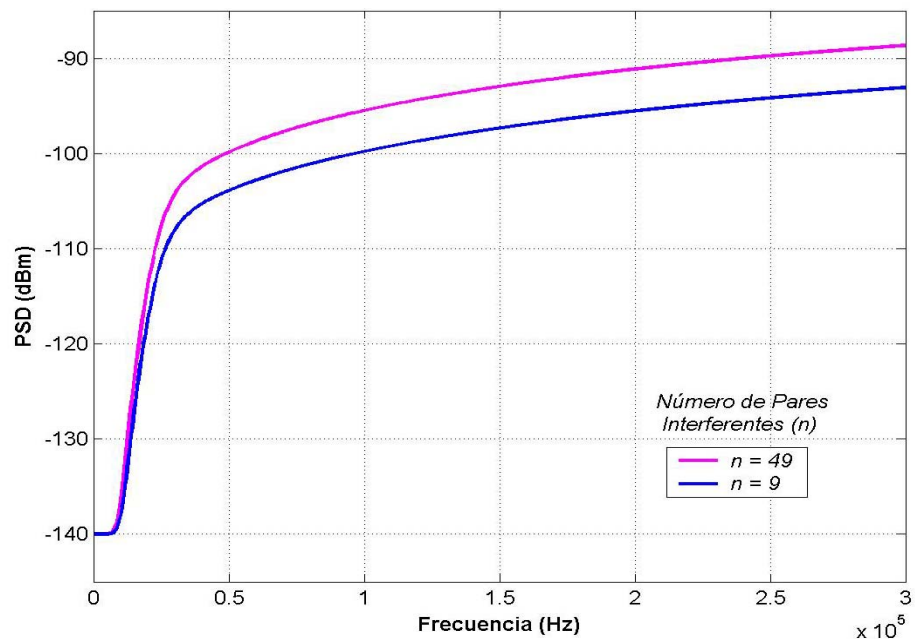


Figura 2.12: PSD total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT y RBG) para línea de 1 Km. de longitud para 9 y 49 pares interferentes

2.2.4. Ecos y Reflexiones

Los ecos se producen por las discontinuidades y los bridged taps que se encuentran a lo largo de la línea. La intensidad de la señal producida por los ecos depende del número de discontinuidades que se presenten a lo largo de la línea, y de la distancia que hay entre el transmisor y las discontinuidades, puesto la señal del eco tiene que regresar desde estos puntos hacia el transmisor, por lo que a mayores distancias ésta señal se atenúa más.

Los ecos presentan mayores problemas en sistemas que utilizan transmisión full dúplex, pero dependiendo de los diferentes esquemas éste impacto varía. Por ejemplo los sistemas FDM (Multiplexación por División de Frecuencia, por sus siglas

en inglés) generalmente no se ven afectados por los ecos. En los sistemas que utilizan cancelación de eco donde los transceptores de ambos lados de la línea transmiten al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencia, por ello se debe tener mucho cuidado ya que los efectos de los ecos pueden afectar severamente en el desempeño del sistema.

La señal de los ecos puede ser disminuida con un supresor de ecos aproximadamente 15 dB. El resto de la señal se puede eliminar con un cancelador de eco que se encarga de medir las características del camino que recorre el eco, y con la señal transmitida o los datos que se codifican en la señal transmitida calcula una réplica del eco esperado. Esta réplica luego se resta de la señal recibida dejando solamente el Ruido Residual de Eco (RRE).

En los sistemas ADSL, el ruido de eco es importante sobre todo para el rango de frecuencias utilizado por el Upstream ya que es en éstas frecuencias donde se tiene una transmisión full duplex, y tiene un valor de -110 dBm/Hz (30 dB más que el Ruido Blanco Gaussiano) para el par de cobre [11].

En las figuras 2.13. y 2.14. se presentan las gráficas de la PSD total del ruido (RBG, NEXT, FEXT y RRE) para el canal Downstream y para el Downstream respectivamente.

El comportamiento es el mismo que analizamos anteriormente para las figuras 2.11. y 2.12.; en presencia del NEXT el Ruido Residual de Eco tiene poca incidencia, sin embargo en las frecuencias donde los niveles del NEXT y el FEXT son bajos la PSD del Ruido toma el valor del Ruido Residual de Eco (-110 dBm/Hz). Como se observa en las gráficas un sistema ADSL está generalmente dominado por el crosstalk (NEXT y FEXT), conforme se incrementa la longitud de la línea hay que tomar en consideración el Ruido Residual de Eco.

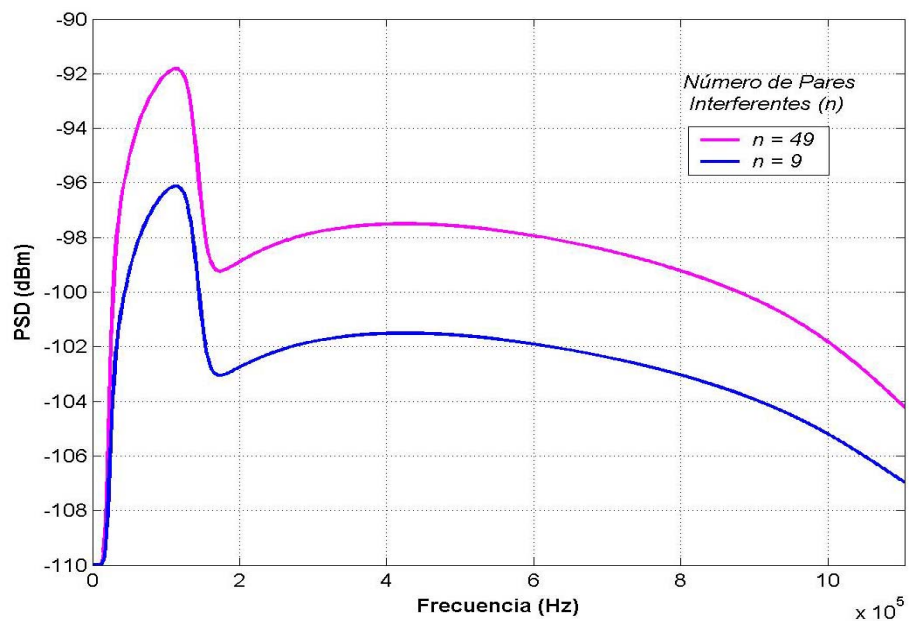


Figura 2.13a. PSD Total del Ruido para el canal Downstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) en una línea de 1 Km para 9 y 49 pares interferentes

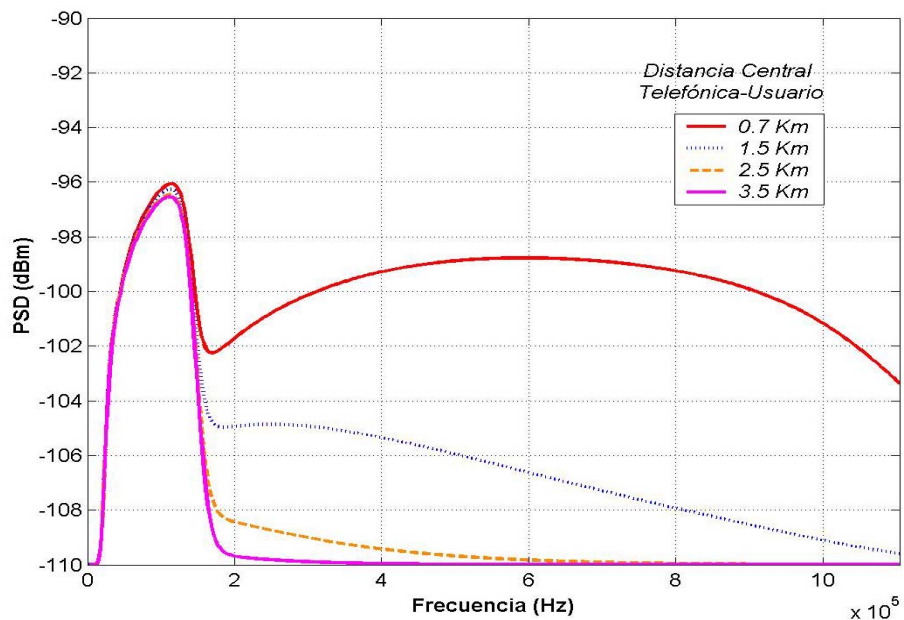


Figura 2.13b: PSD Total del Ruido para el Downstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes.

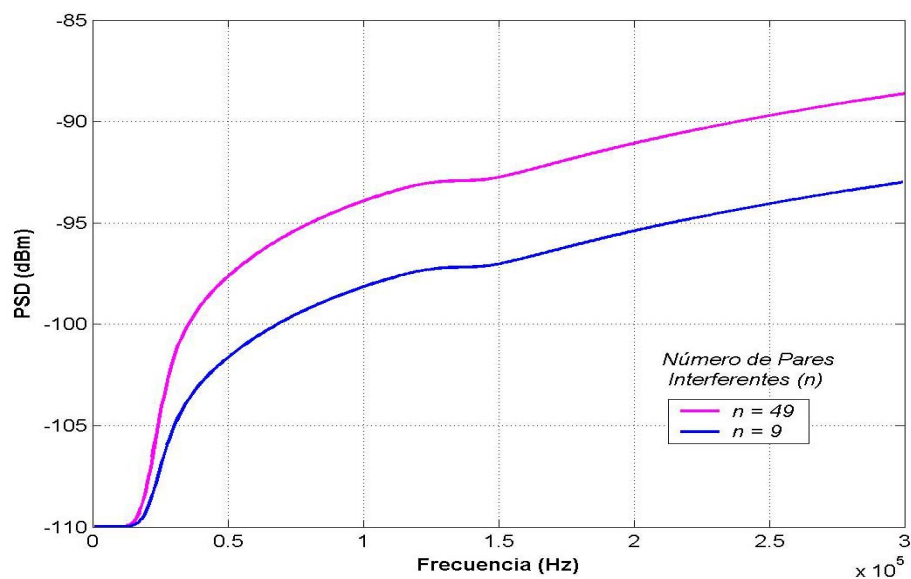


Figura 2.14a: PSD total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para línea de 1 Km. de longitud para 9 y 49 pares interferentes.

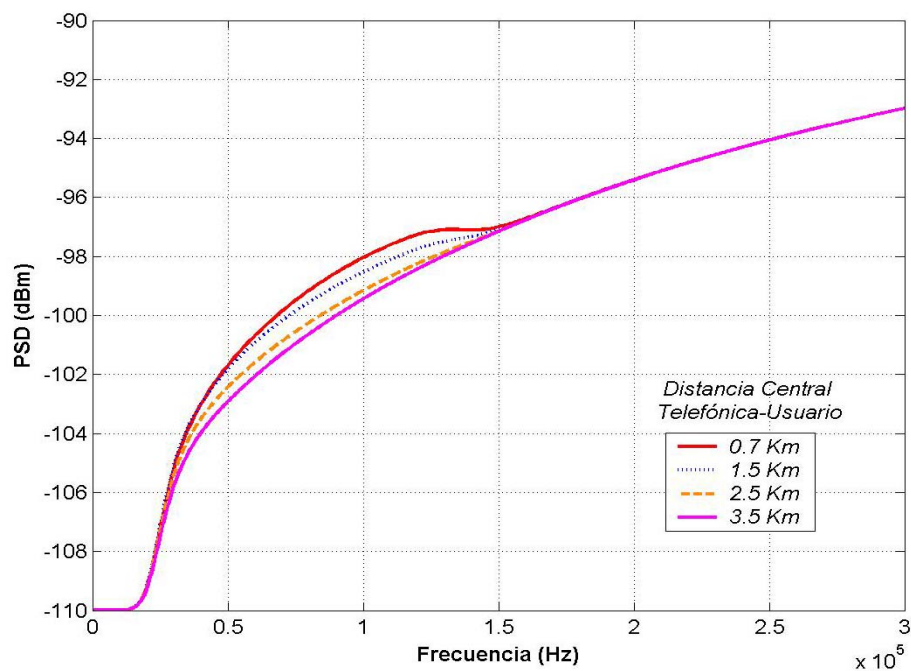


Figura 2.14b: PSD Total del Ruido para el Upstream (NEXT, FEXT, RBG y RRE) para diferentes longitudes de línea con 9 pares interferentes.

2.3. Determinación de la Capacidad del Canal

Una de las principales características que un ingeniero necesita saber, para poder garantizar al usuario su velocidad de conexión, es la capacidad del canal. A mayor capacidad, mayor velocidad de transmisión de datos.

A priori, la capacidad es dependiente de las condiciones físicas del canal. Todo esto puede ser modelado por medio de variables que modifiquen las características físicas del canal. Todo esto ya ha sido revisado en las secciones referentes a ruido e interferencias. Lo que toca ahora es mostrar los datos que pueden ser calculados por medio de la capacidad teórica (Shannon) y una aproximación a una capacidad práctica.

La capacidad teórica nos muestra el límite máximo al cual un canal (dado el ruido, señal y ancho de banda) puede transmitir bajo la premisa de que la cantidad de errores tenderá a cero. Es decir que no se debe rebasar esta velocidad de transmisión.

La capacidad práctica utilizado más adelante nos habla de una aproximación de la capacidad que se puede encontrar en los sistemas reales, esto a través de la inclusión de un factor dentro de la clásica Capacidad de Shannon. Este factor es el que se encarga de bajar el nivel de Relación Señal a Ruido (SNR) para de esta manera obtener un valor menor en la respectiva velocidad. Más adelante se detallará de qué depende este factor.

2.3.1. Capacidad Teórica del Canal

Un importante dato para poder comparar la velocidad de nuestro sistema es a través del límite de eficiencia de Shannon. Este nos da un valor máximo al cual se puede llegar, bajo la premisa del uso de algoritmos y codificación ideal. La ecuación 2.14.

indica que la capacidad teórica de un canal solo se ve afectada por la potencia de la señal transmitida, la potencia del ruido y el ancho de banda del canal.

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ [bits / seg]}$$

Ecuación 2.14. Capacidad teórica de Shannon

Esta ecuación con el supuesto de un nivel de señal y de ruido más o menos constante. Como se puede ver en las gráficas de PSD del ruido total (Figuras 2.13. y 2.14.), la forma no es constante dentro del intervalo de frecuencia de trabajo de ADSL (de 25KHz hasta 1104KHz).

Pero si trabajamos dentro de cada sub-portadora (ancho de banda de 4KHz) entonces podemos ver que los valores de PSD permanecen casi lineales en cada canal. Pudiendo entonces tomar el valor de PSD en la frecuencia central y asumir que, dentro del ancho de banda de 4KHz asignado a cada sub-portadora, es constante (solo para facilitar el cálculo y asumiendo que el error no es considerable).

Entonces tenemos que para el cálculo de la capacidad total de los canales usados en ADSL necesitamos sumar los aportes de cada una de las sub-portadoras, para cada sentido de transmisión (downstream y upstream). La ecuación quedaría así:

$$C_{Canal} = \sum_{i=1}^N W_{4KHz} \log_2 \left(1 + \frac{S_i}{N_i} \right)$$

$$C_{Canal} = W_{4KHz} \times \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{PSDS_i}{PSDN_i} \right) \text{ [bits / seg]}$$

Ecuación 2.15. Sumatoria de capacidad teórica individual de sub-portadoras

Donde:

C_{canal} = Capacidad total del canal analizando

$W_{4\text{KHz}}$ = Ancho de banda igual a 4KHz

N = Número de sub-portadoras

PSDS_i = PSD de la señal en el receptor de la sub-portadora i

PSDN_i = PSD del ruido total en el receptor de la sub-portadora i

Como el ruido total es dependiente del medio (dependencia debido al FEXT) entonces es necesario establecer los límites de la distancia para el cálculo de la capacidad total teórica. Para brindar servicio al sector de la urbanización Puerto Azul hemos encontrado la distancia mínima, desde la Central Puerto Azul, es de 0,6991Km. Por el otro lado, la máxima distancia es de unos 2,5826Km. De igual manera que en el cálculo del NEXT y FEXT, hemos definido al número de interferentes de las líneas ADSL con límites de 9 a 49 interferentes.

Los abonados ubicados dentro de este sector podrán tener las velocidades que se detallan más adelante en este capítulo, dependiendo del sentido de transmisión de datos sea downstream o upstream.

2.3.1.1. Capacidad del Canal Downstream

El límite de la sumatoria dada por la Ecuación 2.15. para el canal downstream viene dado desde 138KHz hasta 1.104Khz, correspondiente a 224 sub-

portadoras independientes. Cabe destacar que esto es usando FDM como esquema de acceso múltiple (Dúplex). En cambio si se opta por el esquema de Cancelación de Eco entonces el límite inferior varía permitiendo que empiece desde los 25,875KHz hasta el mismo límite superior (1.104KHz).

Nosotros vamos a presentar el cálculo asumiendo el uso de FDM en vista de que ha sido el más fácil de integrar por parte de los fabricantes a la hora del diseño de los equipos. Aparentemente el uso de la cancelación de eco se lo ha dejado como una etapa opcional por su dificultad a la hora de acoplar las impedancias entre la línea y el receptor. Además, el uso de FDM en lugar de la Cancelación de Eco resultaría en una estimación un poco más pesimista para nuestro sistema debido a que la primera permite menos capacidad de datos que la segunda, lo cual nos resulta a la hora de asumir el peor de los casos.

Primeramente mostramos la gráfica para una distancia mínima desde la central telefónica al usuario (0,6991Km).

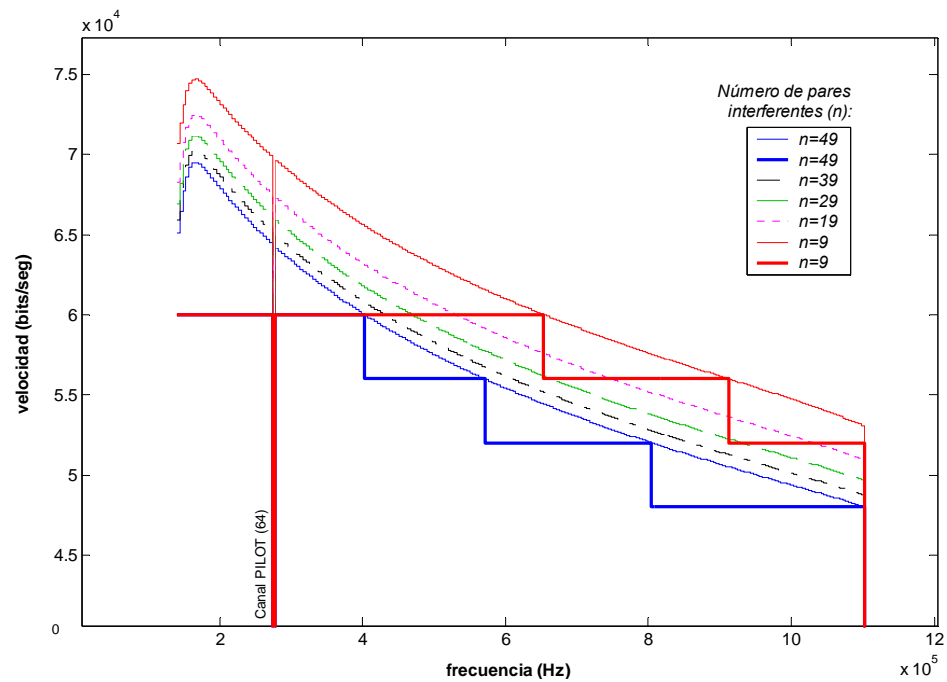


Figura 2.15. Velocidad de datos para sub-portadoras en el Canal Downstream a 0,6991Km.

La Figura 2.15. nos muestra la velocidad que puede ser alcanzada por cada sub-portadora usando un esquema FDM. La sub-portadora 64 (273,84KHz) no es usada para transmitir datos debido a que en el estándar se ha reservado este canal (PILOT). Las recomendaciones para su uso en el actual estándar llegaron tarde al grupo de trabajo encargado del mismo, por lo tanto se optó reservarla para futuro uso [12]. Por otro lado, la última portadora (256) tampoco es usada por el estándar. Esto se debe a que está cercana a cualquier problema de Aliasing (Nyquist) debido a la frecuencia de muestreo. Ambos tonos son asignados con 0 bits en la tabla de bits por canal.

En la Figura 2.15. se pueden observar dos tipos de curvas. Unas con escalones más pequeños y otras con escalones más grandes. Esto es debido a que la

Ecuación 2.15. puede dar lugar luego a que el número de bits asignados a cada sub-portadora no sea un número Entero entre 0 y 15. Por lo tanto las curvas con escalones más altos son las verdaderas condiciones a las cuales puede trabajar el módem ADSL.

A continuación se presenta la Figura 2.16. que es el número de bits asignados a cada sub-portadora. Se obtiene del gráfico anterior simplemente usando el hecho de que cada sub-portadora puede transmitir a una velocidad máxima de 4000 símbolos por segundo. (4 Kbaudio).

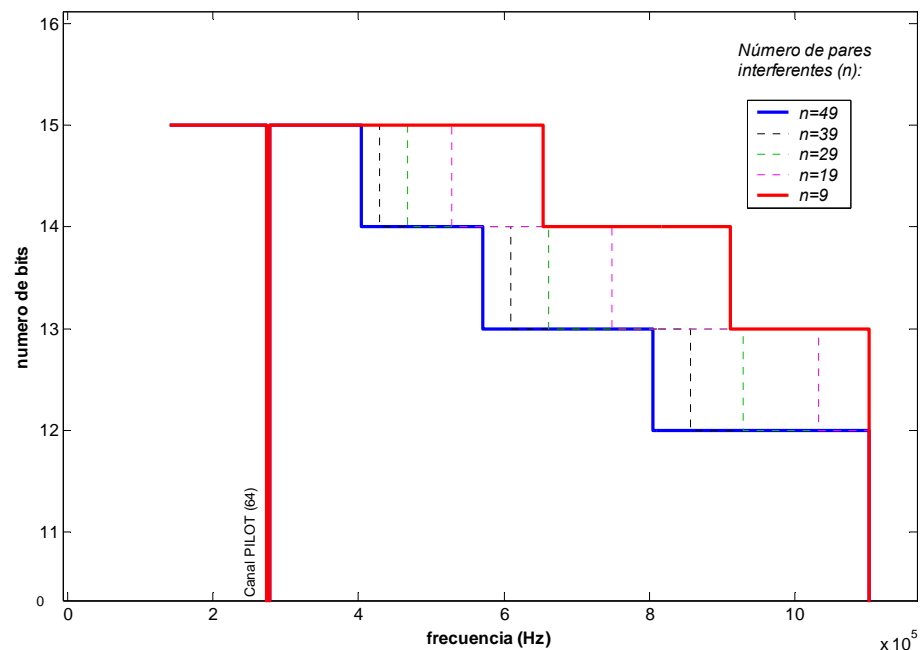


Figura 2.16. Número de bits asignados a cada sub-portadora en Canal Downstream a 0,6991Km

En cada uno de los gráficos anteriores se puede ver a medida que se aumentaban el número de señales interferentes circulando por el mismo grupo (dentro del cable) se iba degradando la velocidad. Por ende, el módem corrige

esta condición bajando el número de bits que puede transmitir por el canal. En cada gráfico la leyenda muestra el número de interferentes n que se usan en cada trazo del gráfico.

La Tabla 2.4. muestra la velocidad total que puede ser alcanzada en cada condición, variando el número de interferentes. Nótese que el número de interferentes es siempre asumido como otras señales ADSL correspondientes a los demás usuarios residenciales.

Número de interferentes (n)	Capacidad Teórica sin redondeo (Mb/s)	Capacidad Teórica con redondeo (Mb/s)
9	13,711	12,728
19	13,185	12,396
29	12,880	12,164
39	12,664	12,012
49	12,496	11,904

Tabla 2.4. Capacidad del Canal downstream a 0,6991Km de la Central

Según los datos mostrados en la Tabla 2.4. la capacidad lograda es un poco superior a los 12Mb/s bajo la condición de estar cerca de la central Telefónica. Es decir que puede ser superior a un E1 entregado por el sistema tradicional de transmisión de datos.

La capacidad a mayor distancia, 2,5826Km dentro de la urbanización Puerto Azul, es mostrada a continuación con gráficos y una tabla de resumen.

La Figura 2.17. muestra una tendencia similar en el comportamiento de la

capacidad que puede ser alcanzada. A medida que se va incrementando el número de señales interferentes, la capacidad del canal va decreciendo como consecuencia del aumento de perturbaciones introducidas al par en uso.

Un comportamiento curioso puede ser visto comparando las Figuras 2.15. Y 2.17. A medida que nos alejamos de la central, el número de interferentes afecta menos el desempeño del sistema. Es decir, que los usuarios que se encuentren cerca de la central van a notar una mayor dependencia de sus vecinos al momento de usar toda la velocidad que les pueda otorgar el sistema. Esto puede ser así debido a que el ruido por FEXT introducido en la línea afecta más a los equipos que se encuentren más próximos en distancia desde la central. Por otro lado, los usuarios más lejanos tendrán más inconvenientes por la atenuación de la señal en la distancia que por el FEXT inducido. (Ver Figura 2.17.).

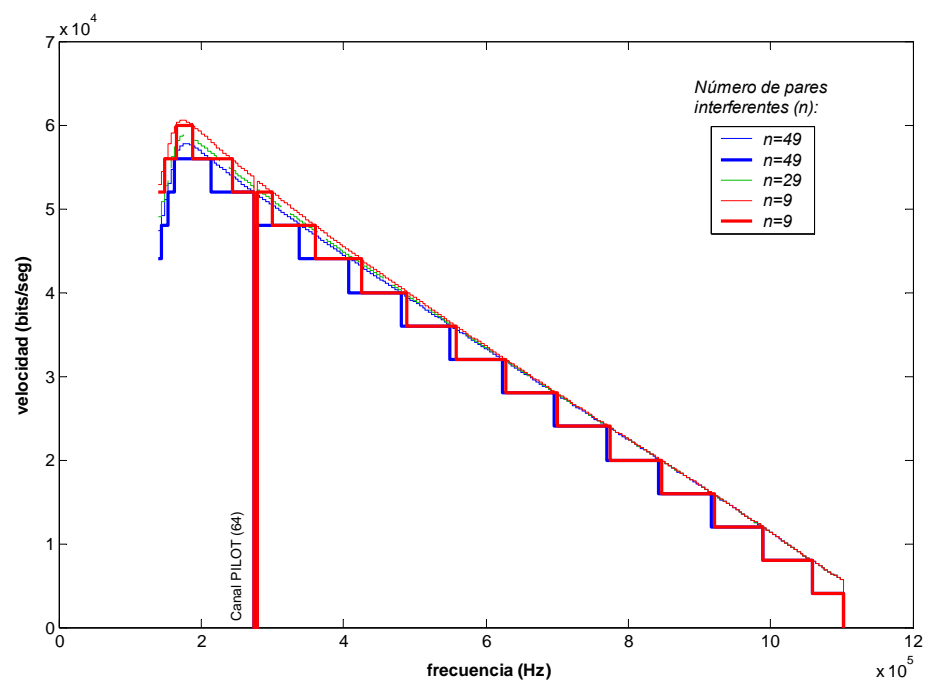


Figura 2.17. Velocidad de datos para sub-portadoras en el Canal Downstream a 2,5826Km

Así mismo, en la Figura 2.18. se muestra el número de bits que son asignados a cada sub-portadora. Como es notorio, el gráfico presenta ahora una forma escalonada más seguida, pero con igual altura de un escalón al siguiente. Esto es debido a la dependencia con la distancia tanto de la señal como del ruido por FEXT, que es el que está presente en altas frecuencias dentro del canal Downstream.

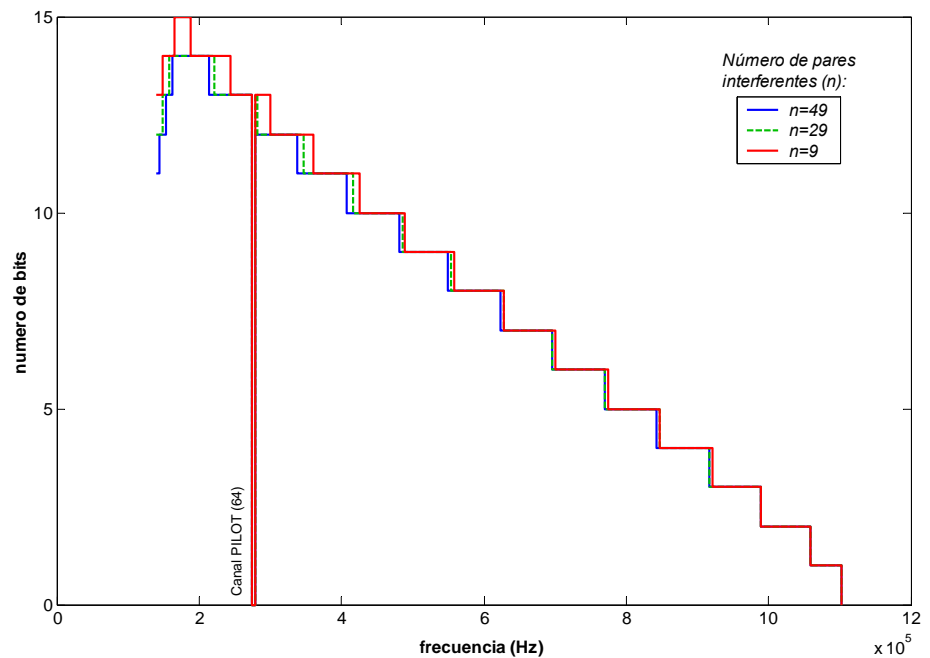


Figura 2.18. Número de bits asignados a cada sub-portadora en Canal Downstream a 2,5826Km

En la Tabla 2.5. se presentan los resultados de la capacidad total variando el número de señales interferentes que un determinado par puede recibir.

Número de interferentes (n)	Capacidad Teórica sin redondeo (Mb/s)	Capacidad Teórica con redondeo (Mb/s)
9	7,2907	6,856
19	7,2335	6,784
29	7,1930	6,744
39	7,1606	6,712
49	7,1332	6,688

Tabla 2.5. Capacidad del Canal Downstream a 2,5826Km de la Central

Como se puede observar, los datos en la Tabla 2.5. muestran una variación desde los 9 pares hasta los 49 pares de apenas 168Kb/s de capacidad. Por otro lado, se puede ver que la variación es mucho mayor, de unos 824Kb/s. Es clara la mayor dependencia de los pares interferentes (vecinos) en los usuarios más cercanos a la Central Telefónica.

2.3.1.2. Capacidad del Canal Upstream

Para el canal Upstream se puede usar la misma Ecuación 2.15. para obtener la capacidad obtenida en el sentido Uplink (de abonado a central). El límite para esta sumatoria va desde los 25,875KHz hasta 138KHz. Ya sea usando FDM o Cancelación de Eco, este rango no varía. Dentro de este intervalo de frecuencia se obtienen 26 sub-portadoras, con 4,3125 KHz de separación entre cada una.

En la Figura 2.19. se grafica la velocidad alcanzada por cada sub-portadora en el sentido upstream para las distancias más corta y larga entre los abonados y la Central Telefónica (0,6 y 2,5 kilómetros). Como era de esperarse, hay una disminución en la velocidad a medida que aumenta la distancia.

De igual manera, el gráfico también muestra las variaciones debido al número de interferentes adyacentes al par en uso. Al aumentar el número de interferentes se disminuye la velocidad, aunque no tanto como debido a la distancia, que era lo lógico de esperar.

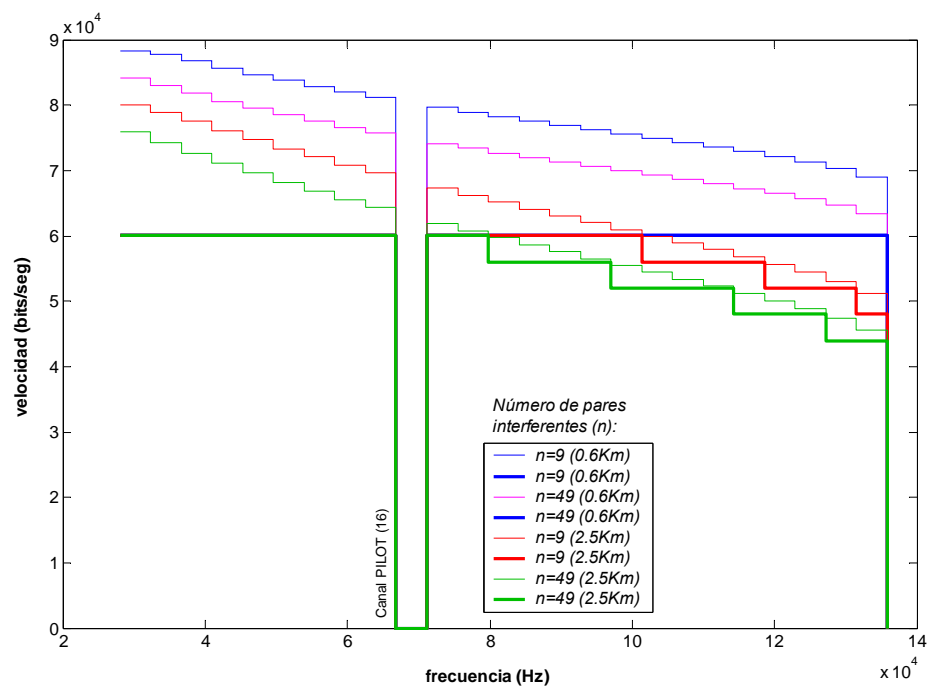


Figura 2.19. Velocidad de datos para sub-portadoras en el Canal Upstream

Las conclusiones que podemos sacar viendo los resultados de la Figura 2.19. es que para nuestro caso de distancia menor a 2,5Km no hay mucha disminución en la velocidad de datos. Casi todas las sub-portadoras pueden operar sobre el canal upstream.

Como lo que queremos saber es la capacidad de los datos, usando la Ecuación

2.15. obtenemos los datos, mostrados en la Tabla 2.6. Se puede ver que para 0,6Km la capacidad es la misma ya sea con 9 o 49 interferentes. Esto es debido a que a esta distancia no disminuye tanto la relación señal a ruido como para disminuir el número de bits que se pueden transmitir en cada sub-portadora. (Ver Figura 2.20.).

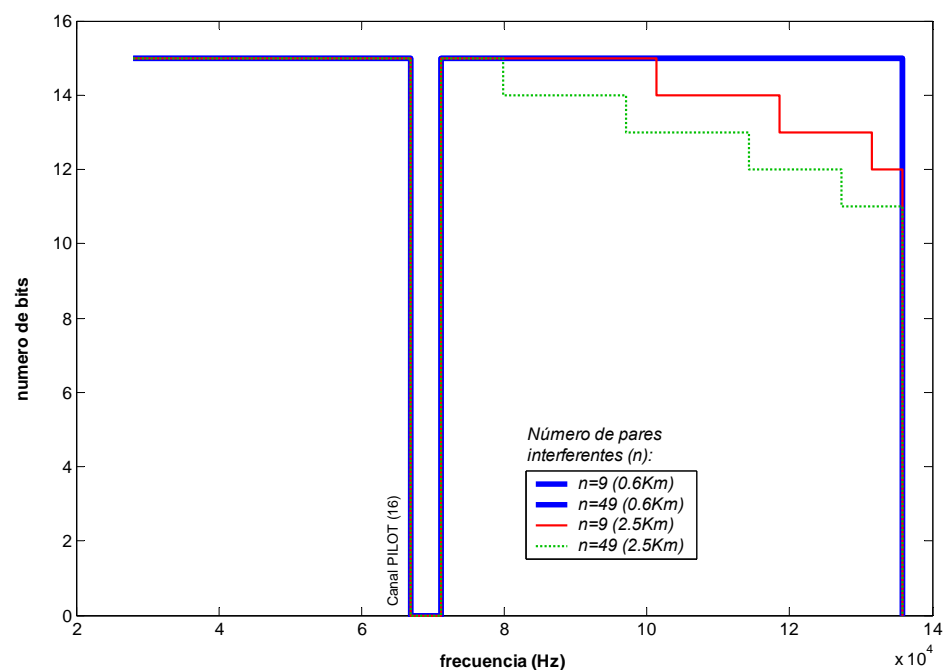


Figura 2.20. Número de bits asignados a cada sub-portadora en Canal Upstream

Por otro lado, tenemos que la Capacidad Teórica con Redondeo (4ta columna de la Tabla 2.6.) nos muestra una variación en capacidad de 0,116 Mb/s entre los valores de distancia con 49 pares interferentes, que en contraste con la variación en el Canal Downstream, es menor a 0,5 Mb/s.

Distancia (Km.)	Número de interferentes (n)	Capacidad Teórica sin redondeo (Mb/s)	Capacidad Teórica con redondeo (Mb/s)
0,6991	9	1,8846	1,440
	49	1,7546	1,440
2,5826	9	1,5698	1,388
	49	1,4420	1,324

Tabla 2.6. Capacidad del Canal Upstream a 0,6991 y 2,5826 Km. de la Central

Además podemos ver que la señal parece ser poco afectada por los pares interferentes adyacentes. Para la misma distancia, la variación entre 9 y 49 interferentes es alrededor de los 0,064 Mb/s (para 2,58 Km.).

En definitiva, parece ser que el Canal Upload es el más limpio. Esto es obvio, considerando 2 puntos:

- La interferencia por pares adyacentes es más crítica a medida que aumentamos la frecuencia (o sea en las portadoras downstream y no tanto en las portadoras upstream), y
- La atenuación a baja frecuencia no es tan crítica como en alta frecuencia (nuevamente esto ayuda al Canal Upstream).

2.3.2. Capacidad Real del Canal

En la sección anterior vimos como la capacidad teórica de Shannon puede servir para obtener una primera referencia para un límite superior de eficiencia en términos de Mb/s.

El problema fundamental es que siempre el modelo matemático asumido para representar los fenómenos es “relativamente” ideal. Es decir, no se consideran ciertas imperfecciones que pudieran haber por desacople de líneas, mal contacto entre conexiones de líneas y los dispositivos pasivos (o cajas de empalmes) a lo largo del recorrido, calidad de la línea, mantenimiento de la línea, etc. Todo esto sumado, al final podría verse algo alejado de la realidad. Por ello es necesario agregar un dato más al problema del cálculo de Capacidad. Es necesario agregar un factor atenuante adicional a los cálculos de Capacidad y a continuación lo presentamos.

En [12] el autor menciona una constante que corrige este problema, denominada “gap” (su símbolo es γ) y no es otra cosa que un factor a ser añadido en la Ecuación 2.15. que toma en cuenta el BER, un Margen de Holgura y una Ganancia por Codificación.

El máximo BER, considerado dentro del estándar para una transmisión aceptable, es de 10^{-7} . Por lo tanto nosotros también asumiremos este valor.

El Margen de Holgura se refiere a cuantas veces se debe elevar los niveles de Crosstalk y de ruido para lograr una cierta holgura en la predicción del peor escenario en el que se montará el sistema. Este valor es aceptado como 6dB, o lo que es lo mismo $\text{mar} = 4$ (es decir 4 veces más Crosstalk y ruido).

La Ganancia por Codificación (g_c) es el originado por la implementación de códigos para detección y corrección de errores (Reed-Solomon FEC) y modulación por codificación Trellis (TCM). Este valor es de 4dB o lo que es lo mismo $g_c = 2.51$ (asumiendo el uso de FEC y TCM simultáneamente).

Es decir, la constante γ se define:

$$\gamma = \frac{mar}{3 \bullet gc} \left[Q^{-1} \left(\frac{Pe}{4} \right) \right]^2$$

Ecuación 2.16. Factor corrector para capacidad del canal

El valor típico para gama en sistemas ADSL es: $\gamma = 14$

De esta forma la Ecuación 2.15. nos queda de la siguiente manera:

$$C_{Canal} = W_{4KHz} \times \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{SNR(i)}{\gamma} \right) \quad [\text{bits/seg}]$$

Ecuación 2.17. Sumatoria de capacidad real individual de sub-portadoras

Donde:

C_{canal} = Capacidad total práctica del canal analizando

W_{4KHz} = Ancho de banda igual a 4KHz

N = Número de sub-portadoras

$SNR(i)$ = Relación señal a ruido en sub-portadora i

γ = Factor gama de corrección de capacidad ("gap")

2.3.2.1. Capacidad del Canal Downstream

El nuevo límite de la sumatoria dada por la Ecuación 2.17. aumenta más nuestra

confianza sobre la capacidad verdadera ofrecida al usuario, esto debido a que se habrá aumentado aún más el nivel de ruido (γ).

De igual manera que en la sección 2.3.1.1., aquí hemos usado FDM como esquema de acceso múltiple (25,875KHz hasta 1.104KHz) por las razones ya antes mencionadas.

Hemos optado por juntar los dos tipos de gráficas (variación por interferentes y variación por distancia) en la figura 2.21 debido a que la variación por interferentes es fácil de interpolar entre los límites elegidos para su variación (entre 9 y 49). Mientras que la variación por distancia era necesaria por su importancia en el diseño de cualquier red de acceso. El efecto de la distancia siempre es necesario analizar por ser el que más difícil es de resolver. No se puede luchar contra la naturaleza intrínseca de las cosas.

En la Figura 2.21. se grafica la velocidad alcanzada en cada sub-portadora variando distancia desde la zona cercana (699 m) hasta la zona lejana de Puerto Azul (2,5 Km). Y además, se muestra dentro de la misma zona la variación entre tener solamente 9 o 49 interferentes adyacentes. Se observa nuevamente un aspecto escalonado en 4 de sus curvas. Esto es natural que suceda, la razón ya fue expuesta anteriormente en la sección 2.3.1.1.

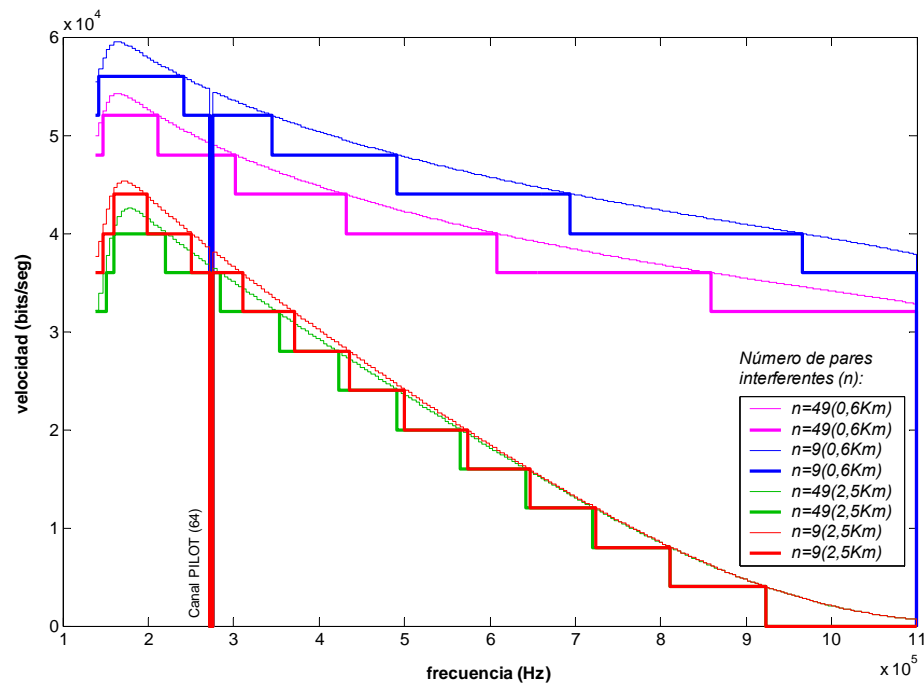


Figura 2.21. Velocidad de datos para sub-portadoras en el Canal Downstream

Como es de esperarse, las cuatro gráficas más altas corresponden a la zona próxima a la central telefónica. Las otras cuatro más bajas corresponden a la zona lejana y es allí donde puede verse una relativa poca influencia entre los pares interferentes adyacentes.

En la Figura 2.21. puede verse que se sigue cumpliendo con la condición de que tanto la sub-portadora 64 como 256 no se usan. Esto debido a lo explicado en la sección anterior (2.3.1.1.). Ambas sub-portadoras tienen asignado 0 bits en el gráfico de bits por canal.

A continuación tenemos la Figura 2.22. que muestra el número de bits asignados a cada sub-portadora. La forma de obtenerlo está explicada en la sección

anterior (2.3.1.1.).

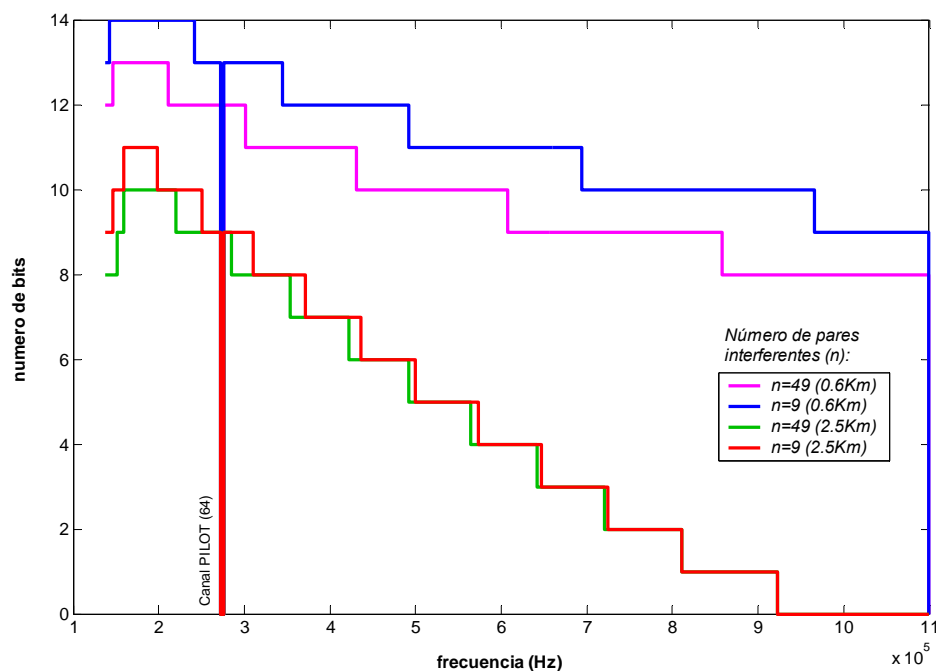


Figura 2.22. Número de bits asignados a cada sub-portadora en Canal Downstream

En la Figura 2.22. es más fácil de observar la mayor dependencia con el número de pares interferentes en la zona cercana a la central telefónica (699 metros) mientras que en zonas lejanas (2,5 Km) la dependencia parece no ser muy notoria y más bien el efecto atenuante por la distancia es el que toma mayor relevancia.

La Tabla 2.7. muestra la velocidad total que puede ser alcanzada en cada condición. El número de interferentes dentro del rango asumido (9 a 49) puede

ser interpolado para obtener sus datos.

Distancia (Km.)	Número de interferentes (n)	Capacidad Real sin redondeo (Mb/s)	Capacidad Real con redondeo (Mb/s)
0,6991	9	10,3310	9,872
	49	9,1162	8,676
2,5826	9	4,2839	3,856
	49	4,1284	3,692

Tabla 2.7. Capacidad Real en el Canal Downstream.

Según los datos en la Tabla 2.7. se puede ver que ahora la dependencia con el número de pares interferentes sigue manteniéndose (mencionada en el final de la sección (2.3.1.1.) y los valores han cambiado, como era de esperarse, a valores menores de capacidad.

2.3.2.2. Capacidad del Canal Upstream

Tenemos que utilizar la Ecuación 2.17. para obtener la capacidad obtenida en el sentido Uplink. El nuevo límite para esta sumatoria va desde los 25,875KHz hasta 138KHz. Dentro de este intervalo se usarán las 26 sub-portadoras, con 4,3125 KHz de separación entre cada una.

A continuación mostramos la Figura 2.23. con la velocidad alcanzada por cada sub-portadora upstream. Como se puede ver, se presentan los dos casos, de corta y larga distancia (0,69 y 2,5 kilómetros). De igual manera también muestra las variaciones debido al número de interferentes adyacentes al par en uso. Al

aumentar el número de interferentes se disminuye la velocidad, aunque no tanto como debido a la distancia.

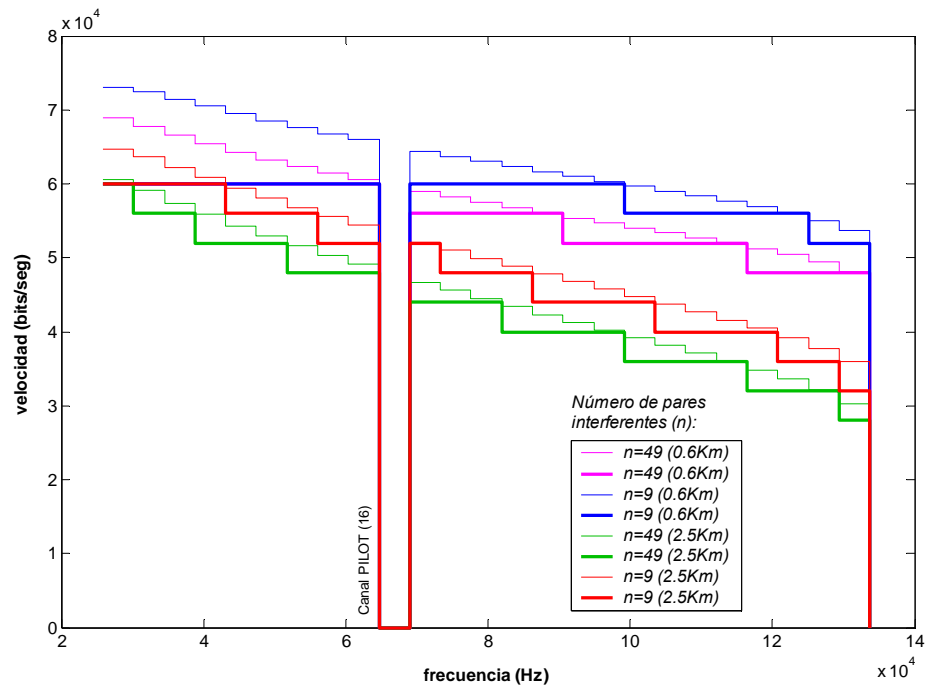


Figura 2.23. Velocidad de datos para sub-portadoras en el Canal Upstream

Como era de esperarse, hay una disminución en la velocidad a medida que aumenta la distancia. Y debido al aumento del ruido debido al uso del factor γ en la Ecuación 2.17., tenemos una reducción en la capacidad en las últimas sub-portadoras en todos los casos. En la sección anterior (2.3.1.2) esto no ocurría debido a que no bajaba lo suficiente la relación señal a ruido. Por ende se podía mantener trabajando a toda su capacidad a las sub-portadoras, por lo menos en la zona cercana (699 metros).

En la Figura 2.24. se presenta más claramente la distribución de los bits para cada sub-portadora. Nuevamente perdemos una sub-portadora porque es la que

el estándar define como reservada, según se ha explicado anteriormente.

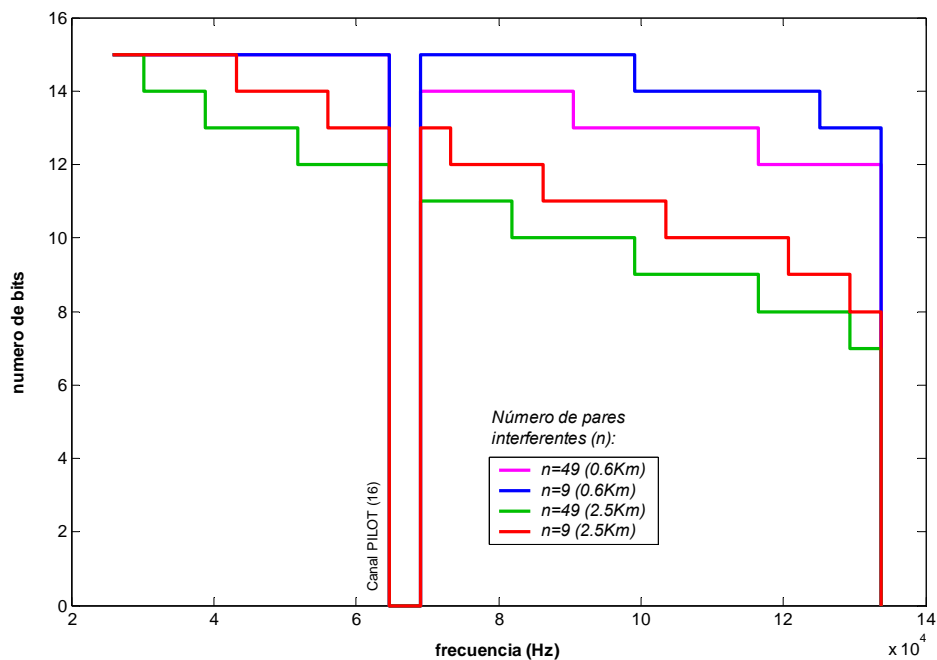


Figura 2.24. Número de bits asignados a cada sub-portadora en Canal Upstream

La Tabla 2.8. muestra la información referente a la nueva capacidad obtenida con la modificación aceptada en la Ecuación 2.17. Así mismo la tabla resume los valores obtenidos para cierta distancia y número de interferentes.

Distancia (Km.)	Número de interferentes (n)	Capacidad Real sin redondeo (Mb/s)	Capacidad Real con redondeo (Mb/s)
0,6991	9	1,5191	1,400
	49	1,3891	1,324
2,5826	9	1,2043	1,148
	49	1,0766	1,032

Tabla 2.8. Capacidad Práctica en el Canal Upstream

Los valores así obtenidos reflejan la disminución en la capacidad, nuevamente esperado. Pero de esta manera se otorga al diseñador una referencia más confiable sobre el desempeño alcanzable del sistema ha instalar.

Todas las observaciones obtenidas al final de la sección 2.3.1.2. son nuevamente aplicables.

CAPITULO 3: DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA, TIPOS DE SERVICIO ADSL, Y EQUIPOS A UTILIZAR EN LA RED

3.1. Introducción

En este capítulo vamos a tomar todos los análisis de la línea de transmisión realizados en el capítulo anterior para poder determinar las velocidades que se pueden ofrecer para éste sector en base a las especificaciones del estándar ADSL, así como también determinar la cobertura inicial que tendrá el servicio y posibles áreas de cobertura que se pueden alcanzar en un futuro, además se presentan los equipos necesarios para brindar el acceso ADSL.

3.2. Determinación del Área de Cobertura para el servicio ADSL

3.2.1. Área de Cobertura del Servicio Telefónico Actual para la Central de Puerto Azul

Actualmente el Sector Residencial de la Vía a la Costa (desde el Km. 9 ½ hasta el

Km. 20) tiene cobertura telefónica brindada por la Central de Puerto Azul. La capacidad de la Central es de 5000 usuarios y aproximadamente está ocupada en un 85%.

Como se mencionó anteriormente en la sección 2.1.1.4. la Central cuenta con 12 armarios, 10 de ellos situados en la Urbanización Puerto Azul y de éstos 3 tienen sus líneas totalmente disponibles, ya que no tiene hecho el cableado secundario.

Como es de esperarse la mayor parte de las líneas telefónicas se encuentran en Puerto Azul, y se espera que en un futuro los 3 armarios disponibles con 200 pares telefónicos cada uno sean utilizados en los nuevos conjuntos residenciales y viviendas que se construyen actualmente al interior de la Urbanización.

En la Figura A.2. se presenta un mapa de la zona con el área de cobertura telefónica de cada armario.

3.2.2. Área de Cobertura Inicial del Servicio ADSL para la Central de Puerto Azul

Como se puede observar en el mapa de Cobertura Telefónica (Figura A.2.) el mayor número de abonados de la Central se encuentra en la zona comprendida entre los Km. 9 ½ y 13 de la Vía a la Costa. Además en base al análisis de mercado que se presentará en la sección (4.1.1.) se determina que el servicio de ADSL no será demandado por todos los habitantes de la zona.

Inicialmente entonces el servicio que se va a brindar estará comprendido en el área que va desde el Km. 9 ½ (inicio de Urbanización Puerto Azul) hasta el Km. 13 (Cdla. Casa Club). Siendo el objetivo principal la Urbanización Puerto Azul que cuenta con 1466 viviendas [15]. También se incluye en la cobertura inicial pequeñas ciudadelas

del sector que sirve el armario 1; como Bosque Azul (Km. 11), Torres del Salado (Km. 11 ½) y Casa Club (Km. 13) que en recorridos que hemos realizado cuentan con menos de 100 viviendas.

La cobertura que puede alcanzar una red ADSL depende directamente de la distancia entre la Central Telefónica y los usuarios finales y de las características del par de cobre, por lo que para determinar el área para dar el servicio se hizo un análisis teórico de la capacidad que se tendría en la red de cobre para poder enviar datos hacia los sectores anteriormente mencionados.

Basándonos en los cálculos realizados en el capítulo dos, y considerando el peor de los casos (número de pares interferentes $n=49$ y máxima distancia entre la central telefónica y abonados) hemos obtenido la máxima velocidad de Transmisión que se puede obtener en el sentido Downstream para cada armario. En la Tabla 3.1. se presentan los resultados obtenidos. La *distancia máxima* es la longitud más larga del par de cobre entre la Central Telefónica y los Usuarios, la *frecuencia máxima para transmisión* es la frecuencia límite para transmitir datos la cual se obtuvo en la sección (2.2.1.) ya que al tener una atenuación mayor a 63.5 dB el estándar recomienda ya no transmitir datos a estas frecuencia, la *velocidad máxima de transmisión* es el resultado obtenido con los cálculos explicados en la sección (2.3.2.). La atenuación que presenta la línea telefónica tiene impacto en el canal de bajada puesto que la señal se atenúa a frecuencias altas que es justamente la banda utilizada por este canal. Para el canal de subida (Upstream) no hay límite de frecuencia para transmitir, ya que como utiliza frecuencias bajas la señal no sufre el impacto de atenuaciones severas y utiliza todos los canales asignados⁶. En la Tabla 3.2. se presentan los resultados de velocidades obtenidas para el Upstream, que

⁶ Ver Anexo B la tabla de atenuación total (B.3.)

como se puede ver son mayores que la velocidad máxima fijada por el estándar para este canal que es de 640 Kbps.

Como se puede observar en todos los armarios ubicados en Puerto Azul se obtienen velocidades mayores a 2916 Kbps por lo que se demuestra que éste sector tendrá cobertura en su totalidad. Con respecto al armario 1 que es el que sirve a las otras pequeñas ciudadelas nombradas anteriormente la velocidad que se alcanza es de 860 Kbps. Como todos estos cálculos han sido realizados en base a un diseño pesimista se determina que se puede brindar el servicio a todos los clientes ubicados en el sector comprendido entre los Km. 10 y 13 de la Vía a la Costa.

Armario	Distancia Máxima (Km.)	Frecuencia Máxima Para Transmisión (KHz)	Máxima Velocidad de Transmisión (Kbps)
1	3,918	309	860
2	2,0115	940	5.328
6	2,5826	567	2.916
7	1,7523	1043	6.340
8	2,096	1035	5.308
9	1,7406	1092	6.520
10	1,3817	1104	7.464
11	1,2297	1104	7.748

Tabla 3.1. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Downstream

Armario	Distancia Máxima (Km.)	Frecuencia Máxima Para Transmisión (KHz)	Máxima Velocidad de Transmisión (Kbps)
1	3,918	138	792
2	2,0115	138	1.116
6	2,5826	138	1.032
7	1,7523	138	1.160
8	2,096	138	1.108
9	1,7406	138	1.164
10	1,3817	138	1.220
11	1,2297	138	1.244

Tabla 3.2. Velocidades de Transmisión Máximas Alcanzadas En El Upstream

3.3. Determinación de Tipos de Servicio ADSL a ofrecer

En la sección anterior se presentaron valores de la capacidad de datos que se puede enviar por el par de cobre. Como se mencionó estos valores se obtuvieron considerando el caso más pesimista. Sin embargo a pesar de esto las velocidades que se pueden brindar a los usuarios son altas y mayores de las que se brindan actualmente en el mercado para este sector, por lo que todos los usuarios podrán acceder a aplicaciones como:

- Navegación por Webs multimedia con gran contenido de gráficos y movimiento
- Audio y video en tiempo real
- Información bajo demanda (aplicaciones “push”)
- Actualización de versiones software en corto tiempo

- Catálogo y librerías multimedia
- Videoconferencia
- Juegos multiusuario en red
- Difusión de acontecimientos deportivos, musicales o socioculturales, noticias, etc.

En base a los resultados obtenidos hemos determinado que inicialmente se implementarán los siguientes servicios: Estándar, Class y Premium.

3.3.1. ADSL Estándar

Se estima que éste será el servicio más solicitado por los usuarios de la zona. Ofrecerá una tasa de 128 Kbps en el sentido Downstream y 64 Kbps en el sentido Upstream

3.3.2. ADSL Class

Ofrece 256 Kbps en sentido Downstream y 128 Kbps en el Upstream. El servicio está disponible en toda el área de cobertura.

3.3.3. ADSL Premium

Ofrece 512 Kbps en sentido Downstream y 256 Kbps en el Upstream. El servicio está disponible en toda el área de cobertura.

3.4. Equipos a utilizar en la Red ADSL

3.4.1. Equipos ubicados en la Central Telefónica

3.4.1.1. Splitter

El splitter es el dispositivo que separa las señales de voz (POTS) de las señales ADSL de modo que evita que las señales ADSL alcancen los dispositivos telefónicos (MDF).

El splitter puede:

- Ser un elemento activo o pasivo
- Tener un filtro pasa-bajos (LPF) y un filtro pasa-altos (HPF) o solamente el LPF
- Estar integrado al ATU-C o venir en un módulo separado

3.4.1.2. ATU-C

Es la unidad de transmisión ADSL del lado de la Central. Como por cada usuario se requiere de un ATU-C, éstos vienen integrados en el Multiplexor de Acceso a la Línea de Abonado Digital (DSLAM, Digital Subscriber Line Access Multiplexor) que incluye varios ATU-C.

3.4.1.3. Configuración ATU-C/Splitter

Existen algunas configuraciones de cómo conectar los equipos de la central (ATU-C y Splitter) que son recomendadas por el ADSL Forum [16], cada una de estas configuraciones tiene sus ventajas y desventajas, por lo que la elección se

debe hacer en base a una serie de parámetros que son los siguientes:

- Complejidad en la Instalación
- Disposición de la Central Telefónica
- Capacidad del MDF
- Efectos causados por falla del ATU-C o Splitter
- Control y Mantenimiento del ATU-C y Splitter
- Tipo de Splitter (Activo/Pasivo)

Para el caso de nuestro diseño, hemos escogido la configuración en la que el Splitter y el ATU-C (ver Figura 3.1.) están integrados en un mismo equipo, con este esquema se obtienen las siguientes ventajas:

- No se necesitan conexiones adicionales para el servicio ADSL en el MDF
- Hay mayor confiabilidad al momento de realizar las instalaciones ya que se requiere un número mínimo de conexiones físicas
- El servicio telefónico (POTS) y el acceso ADSL se proveen fácilmente
- La energía para Splitters activos está siempre disponible
- Reduce el tiempo de instalación

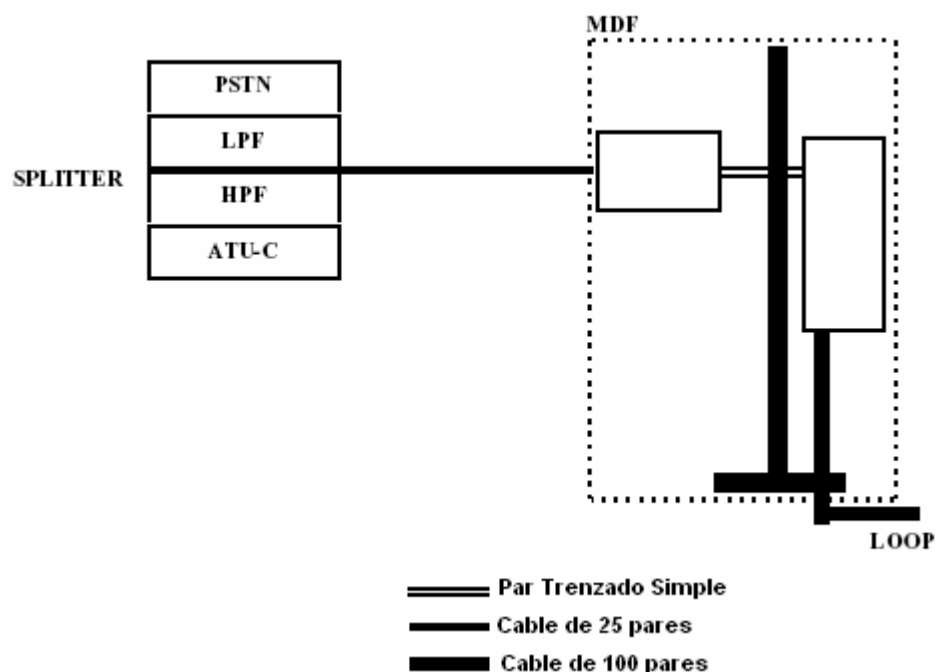


Figura 3.1. Configuración Splitter/ATU-C

3.4.1.4. Equipos de Medición

Debido a que la señal ADSL se transmite por el par de cobre y considerando que la mayoría de las fallas generalmente son del área de la planta externa, es necesario contar con equipos de medición para detectar fallas en el cable telefónico. El equipo básico utilizado en redes ADSL es el reflectómetro (Time Domain Reflectometer, TDR).

Un reflectómetro trabaja enviando un pulso de energía a través del cable. A continuación mide cualquier reflexión o eco que llegue de vuelta al equipo. Estas reflexiones o ecos son causadas por fallas o cambios de impedancia en el cable. La importancia del TDR está en que se pueden localizar puentes (Bridged Taps),

abiertos, cortos, así como bobinas de pupinización (load coils) que afectan o inhabilitan el servicio ADSL.

3.4.1.5. Características del Equipo

3.4.1.5.1. DSLAM

El equipo que hemos elegido para la Central Telefónica es el DSLAM IES-3000 de Zyxel la ventaja que tiene es de ser totalmente modular, por lo que facilita instalaciones futuras para el crecimiento de la red.

Especificaciones

El IES-3000 es un rack de montaje de 482.6 mm (19")

Chasis principal

Número de Slots	Total	Para Tarjetas ADSL	Para Tarjeta de Administración y Conmutación (MSC)
Chasis Principal IES-3000M	16	14	2 ⁷

Tabla 3.3. Slots del Chasis Principal del DSLAM IES-3000

Los slots 8 y 9 son utilizados para las MSC

IES-3000ST Chasis para Splitters

⁷ También puede asignarse un solo spot para la MSC pero se es recomendable tener dos por redundancia.

Chasis para Splitters con cable Telco-50, tiene 15 slots para tarjetas.

Chasis	Dimensiones (mm)	Peso (Kg.)
IES-3000M Chasis Principal	10.8U 442.7(W) x 268(D) x 482.8(H)	22.8
IES-3000ST Chasis para Splitters	5U 442.7(W) x 280(D) x 222.5(H)	10.8

Tabla 3.4. Dimensiones y Peso de Chasis (sin Tarjetas) del DSLAM IES-3000

Tarjetas ADSL Hot-Swappable

- Cada tarjeta tiene 24 puertos ADSL (sobre POTS)
- Velocidades desde 128 Kbps hasta 8 Mbps (Downstream)
- Potencia de Transmisión Downstream 19.8 dBm
- Potencia de transmisión Upstream 13 dBm

Tarjetas Splitter Hot-Swappable

- Cada tarjeta tiene 24 puertos (sobre POTS)

Tarjeta de Administración y Conmutación

- Es una tarjeta que conmuta el tráfico entre las tarjetas ADSL y otros switches Ethernet. Adicionalmente, tiene un puerto de administración y un puerto para el servidor (en nuestro caso para correo electrónico).

Consumo de Potencia

	Potencia (Watts)	Voltaje DC (V)	Corriente (Amps)
IES-3000	800 (máximo)	-36 a -57	20

Tabla 3.5. Consumo de Potencia del DSLAM IES-3000

Utiliza una fuente de poder -48V DC

Ambiente de Operación

- Temperatura: 0 – 50°C
- Humedad: 5% - 95% (sin condensar)

Ambiente de Almacenamiento

- Temperatura: -25 – 70°C
- Humedad: 5% - 95% (sin condensar)

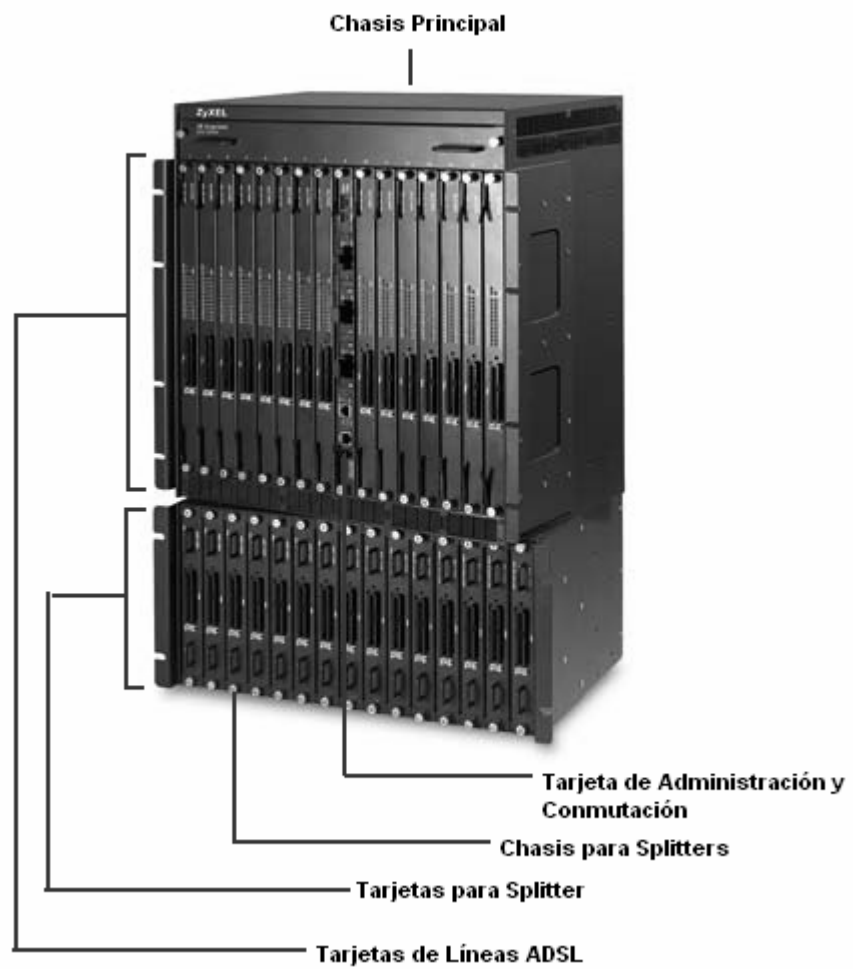


Figura 3.2. Estructura del DSLAM IES-3000

3.4.1.5.2. Reflectómetro (TDR)

Se puede utilizar cualquier reflectómetro existente en el mercado que tenga las siguientes características:

- Caracterización del Enlace (Nivel Físico)
- Diagnóstico y Mantenimiento del Cable

- Identificación de interferencias (ruido) mediante análisis de espectro
- Factibilidad ADSL
- Emulación de ATU-C
- Emulación de ATU-R
- Simulación del Sistema
- Velocidad y Margen vs. Distancia y Ruido
- Verificación de Conectividad DSL
- Sincronización con el DSLAM
- Parámetros del Enlace
- Monitoreo de errores y alarmas a nivel DSL y ATM
- Verificación de Conectividad IP
- Autenticación y Asignación de IP
- Conectividad Virtual con Servidores Remotos
- Pruebas sobre módulo IP, 1000 base X (Gigabit Ethernet)

3.4.2. Equipos ubicados en la casa del abonado

3.4.2.1. Splitter

El splitter ubicado en la casa del abonado cumple las mismas funciones que el del lado central. El filtro pasa-bajos (LPF) contiene un circuito que deja pasar las frecuencias de voz (0 a 4 KHz) desde y hacia el equipo telefónico y bloquea la señal ADSL.

Algunos splitters pueden tener también el filtro pasa-altos (HPF) que permite el paso de las señales ADSL (por encima de 20 Khz aproximadamente) hacia el ATU-R, sin embargo los manufactures de los ATU-R no deben asumir que el HPF estará implementado externamente, y deben incluir en su circuito el filtro pasa-altos adecuado [16].

3.4.2.2. ATU-R

El ATU-R (ADSL Terminal Unit – Remote) es un módem, que recibe la señal ADSL proveniente del splitter y la envía a la computadora a través del puerto de red Ethernet. Como se especificó anteriormente debe incluir un filtro pasa-altos para eliminar las señales menores a 20KHz.

3.4.2.3. Configuraciones ATU-R/Splitter

Del mismo modo que en el lado de la Central Telefónica, existen diversas configuraciones en que se pueden conectar los equipos del lado del abonado. Para cada configuración se plantean las ventajas y desventajas de modo que dependiendo de las necesidades de los usuarios se elija la mejor opción en base a los siguientes criterios [4]:

- Tipo de splitter (Activo/Pasivo)
- Efectos causados por falla del splitter o ATU-R
- Complejidad en la instalación
- Pruebas y mantenimiento del splitter y ATU-R

De todas las configuraciones posibles hemos escogido las siguientes considerando que el splitter para la red es un LPF externo y el ATU-R contiene un filtro pasa-altos en su circuito.

3.4.2.3.1. Configuración Convencional

En esta configuración es la más utilizada en los sistemas ADSL (ver Figura 3.3.). La conexión que entra a la casa del abonado va directamente al splitter que solo es un LPF el cual deja pasar la señal de voz a todos los teléfonos que compartan la línea telefónica. Se separa la señal ADSL la cual va conectada al ATU-R (módem ADSL) a través de un nuevo cable UTP, y de éste la señal llega a la PC usando el puerto RJ-45 con un cable tipo straight Ethernet.

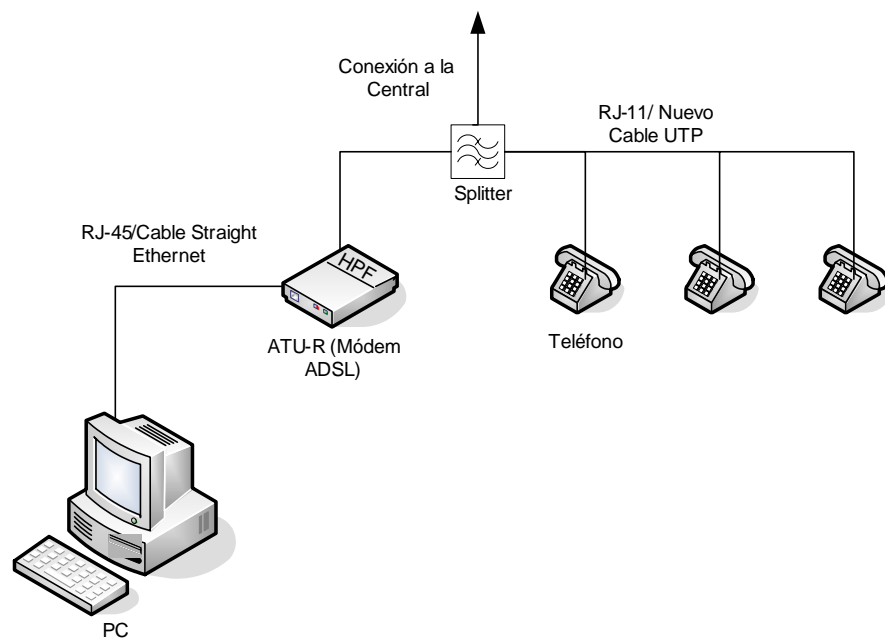


Figura 3.3. Configuración Convencional ATU-R/Splitter

Ventajas:

- La conexión es sencilla puesto que la PC está cerca del ATU-R
- El splitter puede estar distante del ATU-R sin necesidad de que se tenga una línea telefónica junto al PC
- Aísla el cable que transporta la señal ADSL de las imperfecciones del cableado telefónico (como diferentes diámetro de cable)
- Hay mejor acoplamiento entre los diferentes manufactures de equipos ATU-R y el splitter.

Desventajas

- En caso de que se elija un splitter activo el ATU-R tendría que alimentarlo o el filtro debe tener su propia fuente.
- Hay que tener en cuenta que a pesar de que se pueden tener varias derivaciones de la línea telefónica, esto no es recomendable ya que provoca desacoplamiento de impedancias lo que ocasiona una atenuación adicional en la señal y reflexiones que luego afectarán el correcto desempeño del servicio.

3.4.2.3.2. Configuración Utilizando un Router

Esta configuración utiliza un Módem/Router ADSL y un hub para conectar

varias PCs. La conexión se realiza del mismo modo que si tuviéramos un módem ADSL simple, pero utilizando el router que va conectado a un hub multipuestos que nos permite conectar varias PCs (Ver Figura 3.4.).

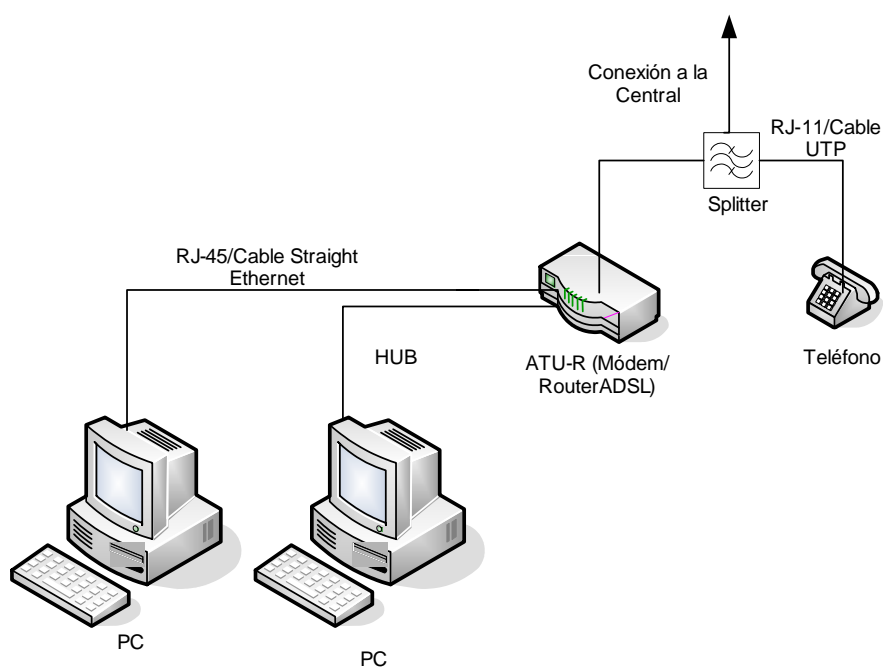


Figura 3.4. Configuración ATU-R/Splitter utilizando un Router

Ventajas

- Para los hogares en los que hay más de una PC ya que se puede crear una pequeña red con acceso a Internet para todas las computadoras
- La conexión es sencilla, todas las PC se conectan a un hub y éste a un router que es el que recibe la señal de la central.

3.4.2.4. Características De Los Equipos a Utilizar

3.4.2.4.1. Splitter

El splitter que se utilizará es el POTS SPLITTER DFSU2PL1001 de MPhase, es un filtro pasivo por lo que en caso de que exista corte de energía eléctrica el servicio telefónico no se verá afectado, además que no incrementa el consumo eléctrico en la casa del abonado.



Figura 3.5. POTS Splitter ubicado donde el abonado

Especificaciones Técnicas

Frecuencia Pasabanda	-	0 a 4 KHz
Pérdida de Inserción	300 a 3400 KHz	0.6 dB
Pérdida de Atenuación	30 KHz	20 dB
Pérdida de Atenuación	100 a 300 KHz	36 dB
Pérdida de Atenuación	300 a 1100 KHz	43 dB

Corriente DC	100 mA
Impedancia	600 Ohms

Especificaciones Físicas

Dimensiones (H x W x L): 24.13 x 28.7 x 57.15 (mm)

3.4.2.4.2. ATU-R

El ATU-R que vamos a utilizar es el P645R Modem/Router ADSL de la Serie Prestige 645 de Zyxel. Este equipo al ser pre-configurado con las características del proveedor se puede instalar automáticamente y trabajar con la conexión ADSL sin necesidad de una configuración manual.



Figura 3.6. Módem/Router ADSL P645R

Especificaciones

Tasas de Transmisión de Datos

- Downstream: Hasta 8Mbps
- Upstream: Hasta 1Mbps

Estándares ADSL Soportados

- Estándar ADSL Multi-Modo
- RADSL (DMT T1.413 Issue 2)
- G.dmt (ITU G.992.1)
- G.lite (ITU G.992.2)
- G.hs (ITU G.994.1)
- Tasa de Adaptación Auto-negociable

Protocolos ATM

- Capa Física ADSL soporta Capa de Adaptación ATM AAL5
- Protocolo Múltiple sobre AAL5 (RFC 1483)
- VC LLC
- Hasta 8PVCs-UBR

Soporte PPP

- PPP sobre AAL5 (RFC 2364)

- PPP sobre Ethernet (PPPoE, RFC 2516)

Bridging

- IEEE 802.1d bridging transparente
- Aprende hasta 128 direcciones MAC

Acceso a Internet Compartido

- SUA (Single User Account)/NAT (Network Address Translation) permite a varias PCs en una LAN acceder a Internet por el costo de una sola dirección IP
- NAT soporta PAT (Port Address Translation) y Aplicaciones Multimedia como NetMeeting, ICQ, CuSeeMe, etc.

Protocolos de Enrutamiento

- IP/IPX, RIP1, RIP2 y enrutamiento estático
- IP Alias
- Servidor DHCP, cliente DHCP
- DNS relay
- IGMP para IP multicast

Administración

- Interfaz de Usuario con administración basada en texto
- Configuración basada en Web (Opcional)
- Administración basada en texto puede ser configurada local o remotamente vía Telnet
- TFTP (Trivial File Transfer Protocol) y FTP para transferir firmware y archivos de configuración
- Soporta SNMP

Seguridad

- Filtrado de paquetes con acceso controlado desde y hacia la LAN
- Contraseña Protegida con System Management Terminal
- PAP (Password Authentication Protocol), CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol) y Microsoft CHAP

Requerimientos Físicos

- Dimensiones (L x D x H) : 181 x 128 x 37 mm
- Peso: 305 gr.

Interfaces Físicas

- Puerto RJ-11 para conexión ADSL
- Puerto RJ-45 para 10M/100M
- Conexión LAN Ethernet
- Switch de Poder

Requerimientos de Potencia

- Voltaje de Entrada AC: 100 a 120 VAC, 200 a 240VAC
- Frecuencia ± 3 Hz
- Consumo de Potencia $\leq 10W$

Entorno de Operación

- Temperatura: 5 – 50°C
- Humedad: 20 – 95% (sin condensar)

3.4.2.4.3. Computador (PC)

Cualquier computadora actual puede conectarse a Internet a través de ADSL, los requerimientos son los siguientes:

- Cualquiera de los siguientes Sistemas Operativos: Windows 98/SE/2000ME/XP; Mac OS 9 y X; Linux

- Procesador Pentium 166 MHz MMX o superior
- 32 Mbytes RAM o más
- 10 Mbytes de espacio libre en disco
- Tarjeta de Red

3.4.3. Esquema de interconexión

En la Figura 3.7. se presenta el esquema de interconexión de la Red de Acceso, se pueden distinguir los dos tipos de configuración en el lado del abonado; la convencional que solo da el servicio para una PC a través del ATU-R y la que utiliza la modalidad de Router del ATU-R para brindar acceso ADSL a más de una PC.

Todos los abonados irán conectados a través del cable telefónico a las tarjetas Splitter de donde la señal telefónica pasará al MDF como se ha venido haciendo en el sistema telefónico tradicional, mientras que la señal de datos pasará a las tarjetas ADSL y de éstas se enviará la información a la Internet.

Para la conexión a Internet se puede contratar una empresa que brinde enlaces E1, la mejor alternativa sería si el enlace es por Fibra Óptica.

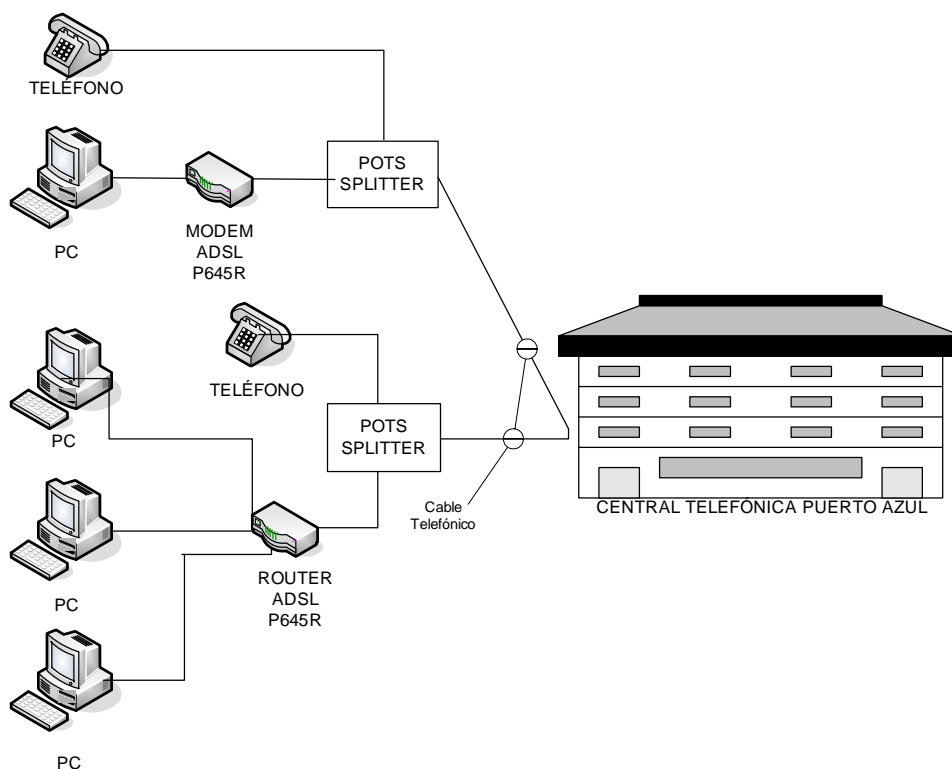


Figura 3.7. Esquema de Interconexión Central Telefónica – Abonados

Para detallar más en profundidad las conexiones internas dentro del cuarto de conmutación de la Central Telefónica (en la planta interna) se muestra la Figura 3.8. En esta podemos apreciar como se han agregado dos nuevos armarios (MDF) para el control del cableado de los nuevos equipos para ADSL. El MDF-A hará las veces de reflejo de los puertos Datos + voz de los splitters, mientras que el MDF-B hará las veces de reflejo de los puertos de Voz de los splitters.

El color de los cables en la Figura 3.8 nos ayuda a distinguir el tipo de señales que se están transportando por ellos.

Para todo cliente que quiera actualizar su conexión de Internet hacia nuestra

tecnología ADSL se tendrá que eliminar el cable de cruzada antiguo, existente entre MDF-1 y MDF-2. A continuación se deberá instalar una nueva cruzada desde MDF-1 hacia MDF-A, para de esta manera establecer el canal de comunicación entre el MODEM del abonado (ATU-R) y el DSLAM (ATU-C). Y para conservar el servicio telefónico tradicional se deberá instalar una segunda cruzada entre el MDF-B y el MDF-2, permitiendo de esta manera el normal paso de la señal de voz hacia la antigua central telefónica.

El cliente que no desee nuestro servicio, de banda ancha por ADSL, se dejará tal como está la actual cruzada (es decir, no se toca el cable entre MDF-1 y MDF-2) sin que esto interfiera con nuestro servicio de Internet.

Arriba se puede ver como la nube que representa a Internet está directamente conectada a nuestro DSLAM. No se han detallado los equipos instalados por el carrier porque esto realmente depende de él. Para el carrier que nosotros hemos escogido hemos decidido incluir a sus equipos dentro de esa nube que representa a al Internet.

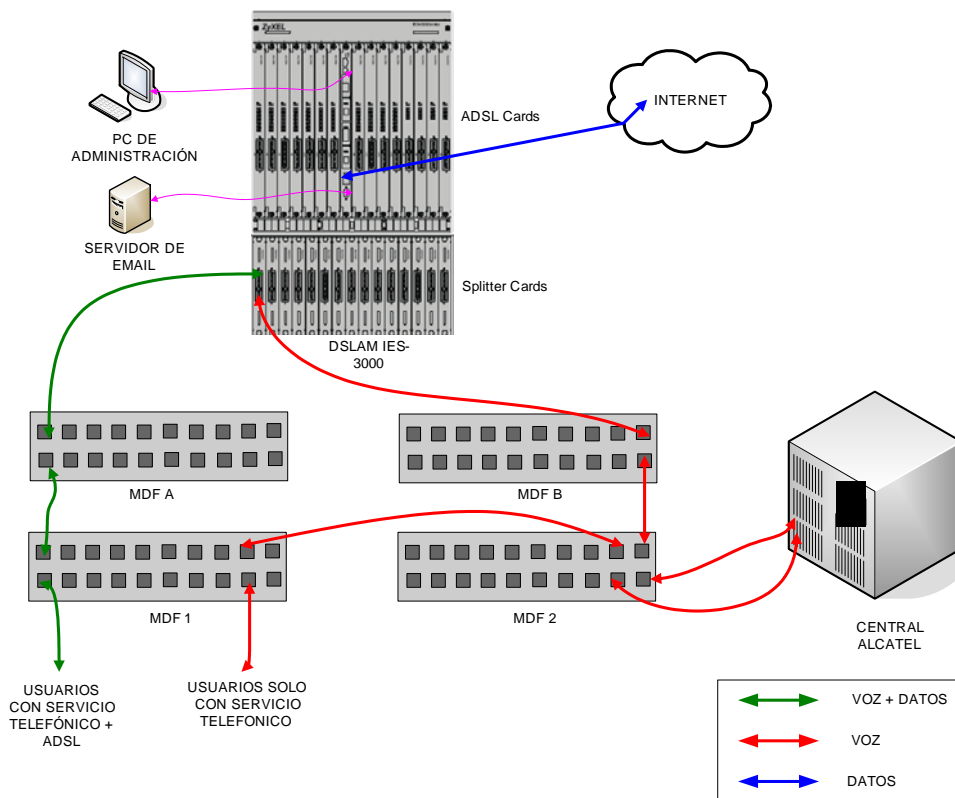


Figura 3.8. Esquema de cableado en el interior de la Central Telefónica

CAPITULO 4: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

El término “banda ancha” se utiliza para denominar al servicio de conexión a Internet que trabaja sobre los 128 Kbps⁸ en forma continua. Ello implica que no trabaja con el módem tradicional que se venía utilizando (sistema analógico de comunicación) y no es intermitente en el tiempo (está siempre conectado aunque la PC esté apagada). El proyecto que hemos planteado en los capítulos anteriores, pretende implementar una red de acceso de banda ancha con tecnología ADSL sobre la red de cobre existente en el sector residencial ubicado en la Vía a la Costa. En el capítulo 3 se ha definido las áreas de cobertura y los tipos de servicio que se van a ofrecer. En este capítulo vamos a determinar la demanda inicial y futura del servicio de acceso a Internet de banda ancha propuesto así como el costo de implementación del proyecto.

4.1. Análisis de mercado

Es necesario primeramente definir el entorno en el cual se va a desarrollar la actividad

⁸ Esta velocidad varía dependiendo del país.

productiva que ADSL pretende impulsar. Este entorno es el correspondiente al Acceso a Internet (catalogado por los organismos del estado ecuatoriano como Servicios de Valor Agregado). En esta categoría se pueden encontrar un amplio número de antiguas y nuevas empresas dedicadas a este rubro, cuya tecnología implementada también varía. Todas ellas son consideradas como amenazas para el éxito en la aceptación de nuestro servicio, el cual es Acceso a Internet a través de la tecnología ADSL.

Como primer paso definiremos al cliente de este sector. El sector de Puerto Azul está ubicado en una de las zonas más tranquilas de la ciudad. El sector de Puerto Azul por estar alejado del centro metropolitano, se encuentra contiguo a una de las principales reservas ecológicas de la ciudad. Las familias que viven en este sector son de clase socioeconómica “media alta” o “alta”.



Figura 4.1. Vista panorámica del Sector de Puerto Azul [17]

Por lo tanto, este sector constituye un lugar en donde puede tener una buena acogida nuestra solución de acceso a Internet.

En la sección 3.2.2. se determinó la cobertura de nuestro servicio que es desde el Km. 9 $\frac{1}{2}$ hasta el 13 de la Vía a la costa. Por consiguiente tenemos definidas las áreas a las que podemos acceder con nuestra tecnología. Primeramente se observó que los valores de atenuación calculados nos permiten abarcar sin problemas a toda la urbanización Puerto Azul. Después, vemos que el servicio nos puede brindar una mayor cobertura extendiéndose hacia pequeñas urbanizaciones también ubicadas en el sector de Vía a la Costa.

Podemos saber el número aproximado de viviendas en el sector gracias a los datos obtenidos por el último Censo de población y Vivienda, publicados por el INEC en el 2001. Estos datos muestran que existen 1466 viviendas en el sector de Puerto Azul. Asumiendo que el sector ha tenido un crecimiento lento en los últimos años, además que se están por llenar todos los solares, entonces podemos asumir que en la actualidad pueden existir con facilidad 1500 viviendas. Esto sumado al hecho de que también se quiere servir a las aproximadamente 100 viviendas ubicadas fuera de Puerto Azul, pero a la vez cercanas. Finalmente nos da un acumulado final de **1600 viviendas** como nuestro mercado objetivo. Por lo tanto son 1600 clientes potenciales los que desearemos capturar.

Realmente las esperanzas en este sector apuntan a que sea un lugar considerablemente poblado. Esto se verá en el transcurso de los próximos años. Lo que se puede notar en la actualidad es que las nuevas urbanizaciones están creándose cada vez más contiguas a las más antiguas. Esto es beneficioso porque nos brinda un sector cada vez más densamente poblado, es decir más clientes potenciales que poder abastecer.

Talvez en un futuro próximo sea recomendable construir una segunda central telefónica para las zonas más alejadas de este sector, así podremos seguir abasteciendo a los nuevos clientes. Pero todo esto será definido por lo que suceda en los próximos años con respecto a la libertad en el mercado de la telefonía fija y la competencia leal. Un duro contrincante a futuro serán los servicios de voz sobre IP, soportados por tecnología inalámbrica. Si bien en la actualidad son factibles y se cuenta con la tecnología, las actuales regulaciones legales brindan facilidad a los monopolios actuales y bloquean las nuevas iniciativas.

4.1.1. Oferta existente en el sector

La masificación del Internet en nuestro país es realmente reciente. Se puede ver que el inicio del negocio del Internet se remonta a 1998 en nuestro país. El uso de las tecnologías era marcada únicamente por el acceso telefónico.

Dial up

Primeramente se ofreció al usuario velocidades de 14kbps, para luego ofrecer mayores velocidades en función de las nuevas tecnologías que llegaban al país y que estaban disponibles con la compra de una nueva computadora (por lo general). Así se aumentó a 28kbps y 33kbps. A pesar de que luego los módems pudieron soportar velocidades de 56kbps, en realidad casi no era posible llegar a esas velocidades. La oferta del sector se quedó estancada con una limitada velocidad de 33kbps para el común de los casos y 44kbps para excepciones.

Cable módem

El inicio del nuevo siglo marco una esperanza para el usuario y un nuevo negocio para los empresarios. Estaba por abrirse el mercado de la banda ancha. Inmediatamente se empezó a oír las ofertas para el sector. Estas eran principalmente encabezadas por el acceso a Internet usando las redes de televisión (Cable módem). Esta oferta ha ido poco a poco incrementando su cobertura en la ciudad de Guayaquil. Antes abarcaba solamente a unas pocas ciudadelas.

WLL y Wi-Fi

En la actualidad es posible encontrar novedosos sistemas que no solamente usan medios metálicos para su transporte. Varias empresas están en la capacidad de brindar acceso a Internet por medio del uso de radiofrecuencias. Topologías celulares brindan un esquema simple para su implementación. Un ejemplo de esto son las redes con soporte WLL o Wi-Fi que están disponibles para diversos sectores de la ciudad, pero no abarcan su totalidad.

4.1.2. Demanda del sector

Según una encuesta publicada por la Superintendencia de Telecomunicaciones, el sector residencial perteneciente a la clase Alta y Media Alta (nivel socio-económico A/B) poseen una penetración en el mercado de acceso a Internet de casi el 50%. Esto quiere decir que aproximadamente la mitad de la población de este nivel social posee acceso a Internet.

Una segunda encuesta también publicada por la Suptel muestra que el 48% de este

grupo (nivel socio-económico A/B) piensa que el acceso telefónico es lento. Esto quiere decir que este grupo de gente posee una marcada tendencia a ser consumidores de banda ancha residencial.

Con estos dos datos podemos definir nuestro alcance inicial máximo de nuestro servicio de ADSL. El cálculo es basado en la estimación anterior de que 1600 familias es el universo que pensamos servir.

$$\text{Demanda inicial} = 1600 * 0,5 * 0,48 = 384 \text{ familias}$$

Como es obvio, no podremos esperar iniciar nuestro servicio capturando estas 384 familias en primera instancia, sería una idealización. Más bien, el tipo de publicidad agresiva que vayamos a adoptar y del servicio al cliente, dependerá el que logremos captar a toda esa demanda inicial que marcará la aceptación de nuestro servicio.

El sector que pretendemos servir es actualmente ocupado por acceso Dial-Up (telefónico tradicional), Cable módem y otras tecnologías WLL. En primera instancia nuestro servicio se deberá enfrentar a estos rivales. Su principal ventaja es que no será necesaria la instalación de costosos equipos en las casas de los abonados (como en las soluciones inalámbricas), ni tampoco se deberá instalar más nodos (Cable módem) al no tener la cobertura necesaria.

La red telefónica ya está instalada y ocupada. Todos los clientes poseen como mínimo un teléfono que puede ser usado por la tecnología ADSL. Por tanto los costos de instalación se limitan a la instalación de los equipos que brindan el acceso a Internet en la Central separándolo del servicio POTS y de la adecuación de la línea en la vivienda, su acometida.

Con todo esto en mente, se espera que para el final del primer año de operaciones se pueda haber captado a **240 usuarios**. Esto es aproximadamente el 65% del total

de usuarios. Es decir que se espera que más de la mitad de los 384 clientes potenciales estén con nosotros. Este porcentaje inicial se ha estimado en base a la aceptación de otros servicios de banda ancha en el país.

El principal objetivo es captar a todos los clientes Dial-Up, o su mayor parte. Se podrá efectuar esta tarea llamando a cada uno de los abonados a sus teléfonos particulares.

El crecimiento del número de usuarios de Internet en el Ecuador ha ido en aumento constante desde que se inició Internet (1996), y mucho más desde su popularización (1998). En la Figura 4.1. se presenta la tendencia de crecimiento del Internet en nuestro país:

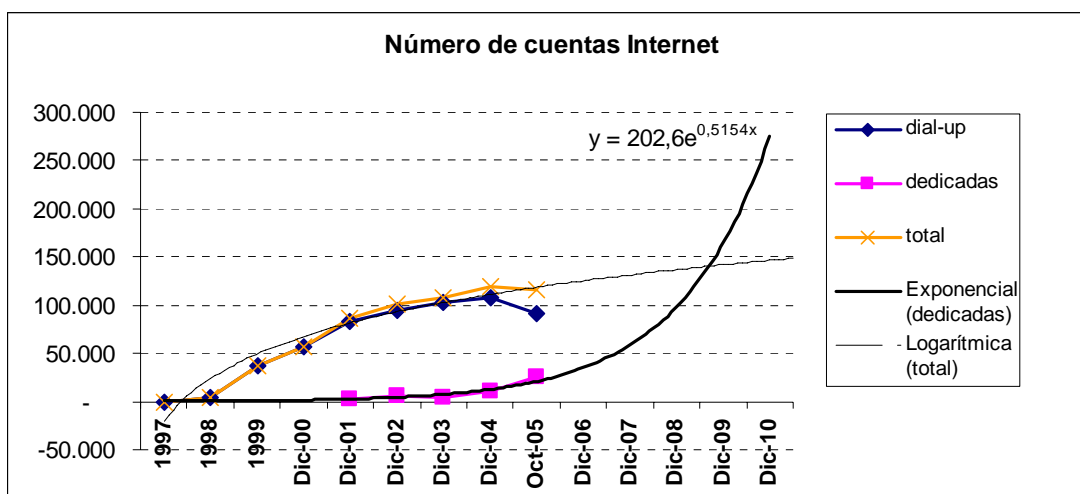


Figura 4.2. Crecimiento de la Demanda de Internet en Ecuador

La leyenda del gráfico anterior nos muestra primero el tipo de cuentas Dial-up (color azul), seguido de las cuentas Dedicadas (color magenta). En tercer lugar tenemos la gráfica que representa a la suma de las dos anteriores, es decir Total (color

amarillo). Y finalmente tenemos las dos últimas gráficas en la leyenda que nos muestran las tendencias más aproximadas que, según los datos actuales, pueden ser asumidas extrapolándolas unos 5 años hacia el futuro, son la *Exponencial Dedicadas* (color negro, estilo continuo) y la *Logarítmica Total* (color negro, estilo punteado).

Del gráfico anterior podemos observar como ha ido creciendo el número de cuentas de Internet, mencionado anteriormente. Pero en los últimos años (desde el 2002) la pendiente de crecimiento ha disminuido para las cuentas Dial-up. El motivo para esto es la introducción de cuentas de tipo dedicadas. Incluso el último año se puede notar una caída en el número de cuentas dial-up, mientras que las cuentas dedicadas han seguido creciendo a un ritmo exponencial, lo que indica que el Internet de banda ancha está entrando en el mercado con fuerza.

Hasta el 2005 se sabe que el número de cuentas a Internet en el país es de 116.358 (declarados a **[18]**). Hemos asumido un crecimiento a 5 años de comportamiento logarítmico para el número total de cuentas. Mientras que el crecimiento en el campo de cuentas dedicadas lo hemos asumido exponencial (como muestra la Figura 4.2.). El comportamiento en los últimos años de las cuentas dedicadas nos muestra que, para el modelo exponencial escogido, ha habido un crecimiento del 67,43% anual. A continuación mostramos de donde se sacó ese porcentaje:

$$e^{0,5154 x} = (1,6743\dots)^x = (1 + 0,6743)^x$$

Aunque el análisis presentado anteriormente es a nivel nacional, se espera el mismo comportamiento en el sector de la vía a la costa. Por lo que en la tabla 4.1. se presenta la demanda esperada para nuestro proyecto en los próximos 5 años:

AÑO	NÚMERO DE CLIENTES
1	240
2	402
3	673
4	1126
5	1886

Tabla 4.1. Demanda Esperada del Servicio ADSL

4.2. Análisis Económico del Proyecto

En los capítulos anteriores se presentó el estudio de la tecnología ADSL para implementarla en el sector residencial de la vía a la costa. En esta sección se hará el análisis económico del proyecto.

Como todo proyecto debe tener un cronograma para llevar a cabo su implementación, éste se detalla a continuación.

Cronograma del Proyecto

La implementación del proyecto se llevará a cabo en tres etapas:

Compra e Importación de Materiales y Equipos	30 días
Instalación de equipos y Software	30 días
Pruebas y Mediciones	30 días

Una vez finalizadas las tres etapas y comprobado que la red de acceso funcione dentro

de los parámetros establecidos anteriormente se procede a realizar la instalación del enlace a Internet que será a través de un carrier. A partir de este momento la red de acceso quedará habilitada para brindar el servicio de Internet a los usuarios.

4.2.1. Costo Inicial del Proyecto

Incluye todos los costos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto, a continuación se detalla cada uno de ellos.

Costo de Materiales y Equipos

Los equipos que van instalados en la Central Telefónica son los DSLAM con todos sus componentes indicados en la sección 3.4.1.5.1. y los MDFs. Además se incluye los cables para realizar las conexiones entre las tarjetas ADSL y las tarjetas de Splitters que son cables de 25 cm. de longitud⁹ con conectores Telco-50 Hembra en los dos extremos, los cables entre los Splitters y MDFs que en un extremo tienen conector Telco-50 Hembra y el otro extremo libre y el cable para realizar las conexiones entre los MDFs que es el cable de cruzada. Todos los precios incluyen IVA, transporte y entrega.

⁹ Longitud Recomendada por el fabricante del DSLAM

EQUIPO/ MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DSLAM				
IES-3000M	Chasis Principal	2	\$840,00	\$1.680,00
IES-3000ST	Chasis para Splitter con conectores Telco-50	2	\$504,00	\$1.008,00
MSC1000A	Tarjeta de Administración y Conmutación	4	\$840,00	\$3.360,00
ALC1024-61	Tarjeta ADSL sobre POTS de 24 Puertos	28	\$1.200,00	\$33.600,00
ASC1024-61	Tarjeta de Splitters (ADSL sobre POTS) de 24 Puertos	28	\$180,00	\$5.040,00
FUENTE -48V	Fuente Convertidora DC	4	\$455,00	\$1.820,00
MDF				
E6D	Regletas Telefónicas de 100 pares	14	\$101,92	\$1.426,88
Armario	Armario Telefónico para 8 regletas	2	\$1.028,16	\$2.056,32
CABLES				
Telco-50 F/F	Cable con conector Telco-50 Hembra en ambos extremos (25cm)	\$16,26	28	\$455,28
Telco-50 F/B	Cable con conector Telco-50 Hembra en un extremo, otro extremo libre (10m)	\$34,01	56	\$1.904,56
Cruzada	Cable para conexiones entre MDFs, rollo de 600 m	\$25,00	3	\$75,00
PCs				
Servidor	Servidor de e-mail	\$2.000,00	1	\$2.000,00
Desktop	Para Administración y control de la red	\$800,00	1	\$800,00
Total Equipos Y Materiales De Central Telefónica				<u>\$ 54.426,04</u>

Tabla 4.2. Costo de Equipos y Materias de la Central Telefónica

Los equipos que van instalados donde los usuarios son el Modem Router ADSL y el POTS Splitter, se debe incluir además los materiales que se necesitan para realizar

la instalación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
P645R	Modem Router ADSL	700	\$43,00	\$30.100,00
DFSU2PL1001	POTS Splitter	700	\$2,95	\$2.065,00
UTP cat. 5e	Rollo de cable de 305m	3	\$61,59	\$184,77
Ponchadora	Ponchadora para conectores RJ-45	2	\$45,00	\$90,00
RJ-45	Caja de 100 conectores	10	\$28,50	\$285,00
Total Materiales y Equipos De Abonado				<u>\$32.724,77</u>

Tabla 4.3. Costo Materiales y Equipos de Abonados

En la tabla 4.4. se detalla el costo del equipo que se necesitará para realizar las pruebas sobre el par de cobre y detectar fallas.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
Aurora Tango	Equipo para realizar pruebas ADSL	1	\$3.500,00
Total Equipo de Medición			<u>\$3.500,00</u>

Tabla 4.4. Costo de Equipo de Medición

Costo Total de Materiales y Equipos: \$ 91.450.81

Costo de Instalación e Interconexión de Equipos

Para realizar la instalación e interconexión entre los equipos de la red, primero se debe analizar cuidadosamente el espacio físico disponible en la central ya que deben estar ubicados de manera que permita una rápida interconexión entre los

DSLAMs y los MDFs, así como también disponer de un buen sistema de ventilación para evitar el sobrecalentamiento de los equipos y contar con suficientes puntos de alimentación eléctrica. En caso de que sea necesario realizar alguna adecuación en el espacio físico se asignará un fondo para obra civil.

El personal encargado debe estar debidamente preparado y haber estudiado cuidadosamente los manuales de todos los equipos para realizar las instalaciones e interconexiones, además se debe instalar el software de administración y monitoreo de la red y servidor de e-mail. La mano de obra no incluye retenciones ni valores del IESS o seguros.

Para esta etapa se necesitará 2 Ingenieros y 3 técnicos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO/SALARIO UNITARIO	COSTO/SALARIO TOTAL
Ingeniero	2	\$800,00	\$1.600,00
Técnico	3	\$500,00	\$1.500,00
Obra Civil			\$800,00
Total Instalación e Interconexión de Equipos			<u>\$3.900,00</u>

Tabla 4.5. Costos de Instalación e Interconexión de Equipos

Costo de Pruebas y Mediciones

Esta etapa conlleva trabajo tanto dentro de la central telefónica como en la planta externa. En la central se prueba el correcto funcionamiento del software de administración y monitoreo de la red ADSL y también del hardware verificando que se establezca la comunicación entre los diferentes equipos instalados.

En la planta externa se procede a pruebas y mediciones en el par de cobre para verificar que los niveles de SNR estén dentro de los rangos permitidos para que se pueda establecer un enlace entre el equipo de usuario y el de la central.

Para esta fase se necesita de 1 Ingeniero y 2 técnicos.

PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO POR PERSONA	SALARIO TOTAL
Ingeniero	1	\$800,00	\$800,00
Técnico	2	\$500,00	\$1.000,00
Total Pruebas y Mediciones			\$1.800,00

Tabla 4.6. Costo de Pruebas y Mediciones

Costo de Instalación del Enlace a Internet

El enlace será a través de fibra óptica que es el único medio capaz de permitir anchos de banda como el requerido por nuestra red. El carrier se encargará de hacer la conexión desde su nodo más cercano a la central de Puerto Azul para conectar nuestros DSLAMs a su red, esto incluye un transceiver y un Switch. Entre los servicios que nos ofrece el carrier están:

- Canales de acceso directo hasta el NAP de las Américas, N x E1
- Latencia: 112 milisegundos hacia portales como Yahoo ó Google
- Confiabilidad BER: 10 e-12
- Pérdida de Paquetes: 0%
- Acceso a Internet: Backbone de Telefónica en el NAP de las Américas
- Concentración 1:1 garantizada

- Respaldo Satelital automático

El costo de la instalación del enlace es de \$2.500,00.

Todos los costos detallados anteriormente se suman para obtener el costo inicial del proyecto.

INVERSIÓN INICIAL : \$99.650,81

4.2.2. Costo de Operación de la Red

Para la operación de la red ADSL se requiere un Ingeniero y dos técnicos quienes estarán encargados de realizar la administración de la red, detectar y resolver fallas tanto en la central como en la planta externa y de realizar el mantenimiento de la red cuando ésta así lo requiera. Dentro de este rubro se incluye el costo del personal encargado de instalar el servicio en la casa de los usuarios, tarea que realizarán los mismos técnicos contratados, en caso de requerir más personal éste puede ser parte del personal que trabaja en la central telefónica, de este modo no se tienen mayores gastos para la nueva red de datos.

PERSONAL	CANTIDAD	SALARIO POR PERSONA	SALARIO TOTAL
Ingeniero	1	\$800,00	\$800,00
Técnico	2	\$500,00	\$1.000,00
<i>Costos De Personal Mensual</i>			<i>\$1.800,00</i>
<i>Costos de Personal Anual</i>			<i>\$21.600,00</i>

Tabla 5.7. Costos de Personal que Opera la Red ADSL

Además se debe incluir los costos del enlace a Internet que se le debe pagar al carrier mensualmente, éste costo incluye la salida a Internet y el alquiler de los equipos. El ancho de banda que se contratará irá aumentando anualmente conforme el incremento de abonados ADSL.

Costo mensual 1 E1: \$4,000.00

Arriendo de equipos mensual: \$500.00

En la Tabla 5.8. se presenta el pago anual que se debe hacer al carrier por el enlace a Internet durante los 5 primeros años.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Nº de E1 requeridos	3	6	9	16	27
Costo Enlace mensual	\$ 12,500.00	\$ 24,500.00	\$ 36,500.00	\$ 64,500.00	\$ 108,500.00
Costo Enlace anual	\$150,000.00	\$294,000.00	\$438,000.00	\$774,000.00	\$1,302,000.00

Tabla 5.8. Costo Anual de Enlace a Internet

Dentro de los costos de Operación también se incluyen los servicios básicos (agua y luz). El consumo del agua se puede considerar constante dentro de nuestro análisis. Sin embargo la energía eléctrica que se consume se irá incrementando a medida que empiecen a funcionar más equipos, éste cálculo se pudo determinar a partir del consumo del DSLAM (800W) y del costo del KWH.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Luz	\$ 189.05	\$ 316.66	\$ 529.34	\$ 886.97	\$ 1,485.63
Agua	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00
Total Servicios Básicos Mensual	\$ 209.05	\$ 336.66	\$ 549.34	\$ 906.97	\$ 1,505.63
Total Servicios Básicos Anual	\$ 2,508.60	\$ 4,039.92	\$ 6,592.08	\$ 10,883.64	\$ 18,067.55

Tabla 5.9. Costo Anual de Servicios Básicos

Sumando todos los costos operativos mencionados anteriormente se obtiene el Gasto anual de operación para los 5 primeros años presentados en la tabla 5.10.

Año	Gasto Total Anual
1	\$ 174,108.60
2	\$ 319,639.92
3	\$ 466,192.08
4	\$ 806,483.64
5	\$ 1,341,667.55

Tabla 5.10. Gasto Total Anual de la Red ADSL

4.2.3. Ingresos por servicios

El costo del servicio ADSL varía dependiendo del servicio que contraten los usuarios, y ha sido fijado basándonos en los precios que actualmente tiene el acceso a Internet en el mercado. Como se definió anteriormente los tipos de servicio que se ofrecen son los siguientes:

Servicio	Velocidad (downstream/upstream) (kbps)	Precio Mensual (sin IVA)
ADSL Estándar	128/64	\$ 55.00
ADSL Class	256/128	\$ 110.00
ADSL Premium	512/256	\$ 160.00

Tabla 5.11. Precio Mensual de los Servicios ADSL que se ofrecen

De todos los clientes ADSL, se estima que el 70% tendrá el servicio ADSL Estándar, 20% el ADSL Class y el 10% el ADSL Premium. Además el costo de instalación será de \$100,00 (no incluye IVA) independientemente del servicio que contraten los usuarios. En base a éstos parámetros se tienen el ingreso anual por concepto del servicio ADSL. Los datos se presentan en la tabla a continuación.

Año	Ingreso Total Anual
1	\$ 238,320.00
2	\$ 381,031.78
3	\$ 637,943.76
4	\$ 1,068,129.09
5	\$ 1,788,358.61

Tabla 5.12. Ingreso Total Anual por Servicios ADSL

4.2.4. Evaluación de la inversión

Como todo proyecto, el proyecto presentado a lo largo de este trabajo requiere de un método de evaluación de la inversión preciso. Sin embargo ésta tarea no es fácil puesto que se tiene la incertidumbre y el riesgo que implica el largo plazo y la gran

cantidad de factores que influyen en el mismo. Para realizar la evaluación de proyectos existen varios métodos, el que hemos elegido nosotros es el método de **Valor Presente Neto** puesto que conocemos todos los flujos que se deben realizar a lo largo del tiempo para el correcto funcionamiento de la red y tiene la ventaja de considerar el valor del dinero a través del tiempo.

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \left(\frac{S_t}{(1+i)^t} \right)$$

Ecuación 4.1. Cálculo del Valor Presente Neto

Donde:

VPN = Valor Presente Neto

So = Inversión Inicial

S_t = Flujo de Efectivo neto en el periodo t

n = Número de períodos en la vida del proyecto

i = Tasa de Recuperación Mínima Atractiva (TREMA)

La TREMA utilizada es del 12%¹⁰ para un periodo de 5 años, en la Tabla 5.13. se presentan los flujos de efectivo neto (Ingreso Total Anual – Gasto Total Anual).

¹⁰ La TREMA puede fijarse a partir de la tasa máxima que ofrecen los bancos por una inversión a plazo fijo, actualmente esta es del 4.57% según datos del Banco Central, para los cálculos siempre se da un margen de holgura por cualquier gasto extra que se tenga que hacer.

Año	Flujo de Efectivo Neto
1	\$ 64,211.40
2	\$ 61,391.86
3	\$ 171,751.68
4	\$ 261,645.45
5	\$ 446,691.06

Tabla 5.13. Flujos de Efectivo Neto del Proyecto

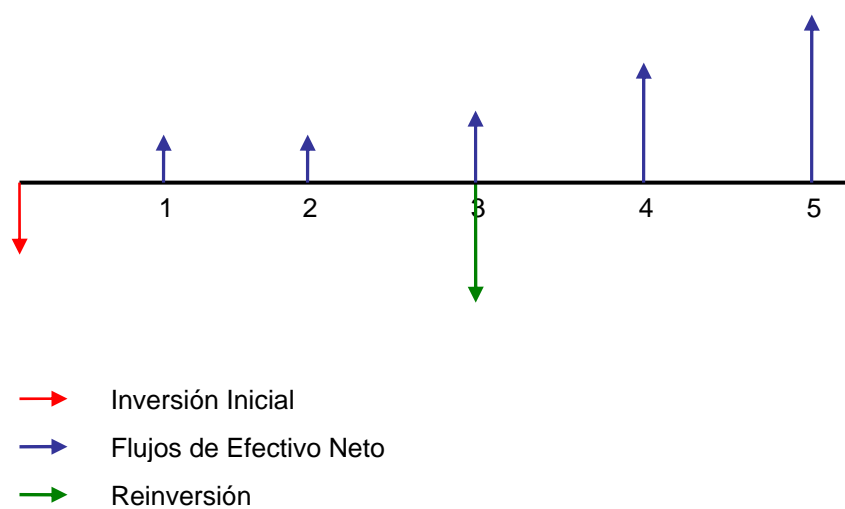


Figura 4.3. Flujos de Efectivo del Proyecto

En la figura se muestra los flujos de efectivo que tiene el proyecto, además en el tercer año se realiza una reinversión que es el doble que la inversión inicial. El cálculo del VPN quedaría de la siguiente manera:

$$VPN = -\$99.650,81 + \left(\frac{\$64.211,40}{(1+0.12)} \right) + \left(\frac{\$61.391,86}{(1+0.12)^2} \right) + \left(\frac{-\$27.549,94}{(1+0.12)^3} \right) + \left(\frac{\$261.645,45}{(1+0.12)^4} \right) + \left(\frac{\$446.691,06}{(1+0.12)^5} \right)$$

$$VPN = \$406.757,42$$

Puesto que el valor que se obtiene para el VPN es positivo, entonces se considera que el proyecto es aceptable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El uso del programa de análisis matemático Matlab, en su versión 6.1, ha sido fundamental en el desarrollo del presente trabajo. Gracias a su facilidad en el manejo de expresiones matemáticas complejas y sus herramientas de graficación, se ha podido estimar la capacidad del par de cobre instalado en el sector de la vía a la costa, todo esto en base a los principales tipos de ruido que afectan al canal.
2. Un mapa donde se muestren los rangos de distancias hacia la central telefónica es de gran utilidad para poder determinar la capacidad (como en el Anexo A-3). Esto es debido a que los programas de Matlab realizados se ingresa la distancia como dato y este automáticamente devuelve los valores de capacidad. Hacer un mapa de cobertura por velocidad no sería muy útil debido a que el ruido en la red podría variar de lo esperado.
3. Luego de haber analizado la red de cobre que está instalada en el Sector de la Vía a la Costa se determinó que efectivamente se puede ofrecer el servicio ADSL a través de la misma, ya que la distancia entre los usuarios y la Central Telefónica no es mayor a 5 Km (que es el límite establecido por las normas) además que se obtiene una SNR

aceptable que nos permite alcanzar en la mayoría de los casos velocidades que superan 1 Mbps en el canal Downstream.

4. Con la capacidad que se obtuvo del canal se pudo definir las zonas de cobertura del servicio ADSL que van del kilómetro 9 ½ hasta el kilómetro 13. Dentro de estas zonas se puede ofrecer las velocidades de 128/64, 256/128 y 512/256 Kbps (Downstream/Upstream) que son suficiente para satisfacer la demanda del sector residencial.
5. El número inicial de clientes potenciales es del 65% de la demanda inicial esperada. Esto se espera debido al alto crecimiento poblacional de la zona y a que las ofertas de acceso a Internet de banda ancha del sector son pocas. Además, por datos propios de la Suptel, el mercado de acceso telefónico tradicional está migrando hacia banda ancha.
6. Para poder brindar el servicio ADSL sobre la red de cobre de la empresa de telefonía tradicional no se requiere hacer una inversión inicial muy grande, ya que la planta externa ya está instalada y solamente se requieren los equipos ADSL que separan la señal de voz de la de datos, en nuestro caso la inversión inicial es de \$99.680,51. Esta es una solución de gran conveniencia para las telefónicas tradicionales ya que les permite competir en el mercado con otros servicios.
7. El costo de operación de la red es elevado principalmente por el alto costo de la salida a Internet que se le tiene que pagar al carrier. Este valor sería más barato si el Ecuador tuviera una salida propia al enlace internacional de fibra óptica. En la actualidad nuestra única salida es a través de nuestros vecinos, Colombia o Perú.

RECOMENDACIONES

1. Para análisis de futuras implementaciones de este tipo de proyectos se ha dejado el código fuente del programa en Matlab, de esta manera se podrá cambiar los datos de niveles de ruido e interferencias y de esta manera recalcular los valores de capacidad del canal.
2. Los valores de ruido usados en el presente trabajo han sido valores teóricos. Si una empresa está dispuesta a poner en marcha el proyecto, sería recomendable que ingrese al programa los valores de ruido reales medidos en la red. Esto lo puede hacer utilizando un TDR.
3. A pesar de que una de las configuraciones dice que se puede instalar el servicio ADSL en la casa de un usuario que tenga varias derivaciones telefónicas de la misma línea, no es recomendable que existan más de tres. Esto es debido a que la presencia de ellas produce desacople de la línea, que provoca ráfagas de ruido y en algunos casos puede llegar a impedir una comunicación entre los equipos de la central y del usuario.
4. Debido a que el sector de la Vía a la Costa está en continuo crecimiento y tomando en cuenta que ADSL no se garantiza a distancias mayores de 5 o 6 Km., sería recomendable que para futuras urbanizaciones más distantes de la oficina central se instalen pequeñas centrales remotas para brindar cobertura a estos sectores lejanos.

ANEXO A. MAPAS

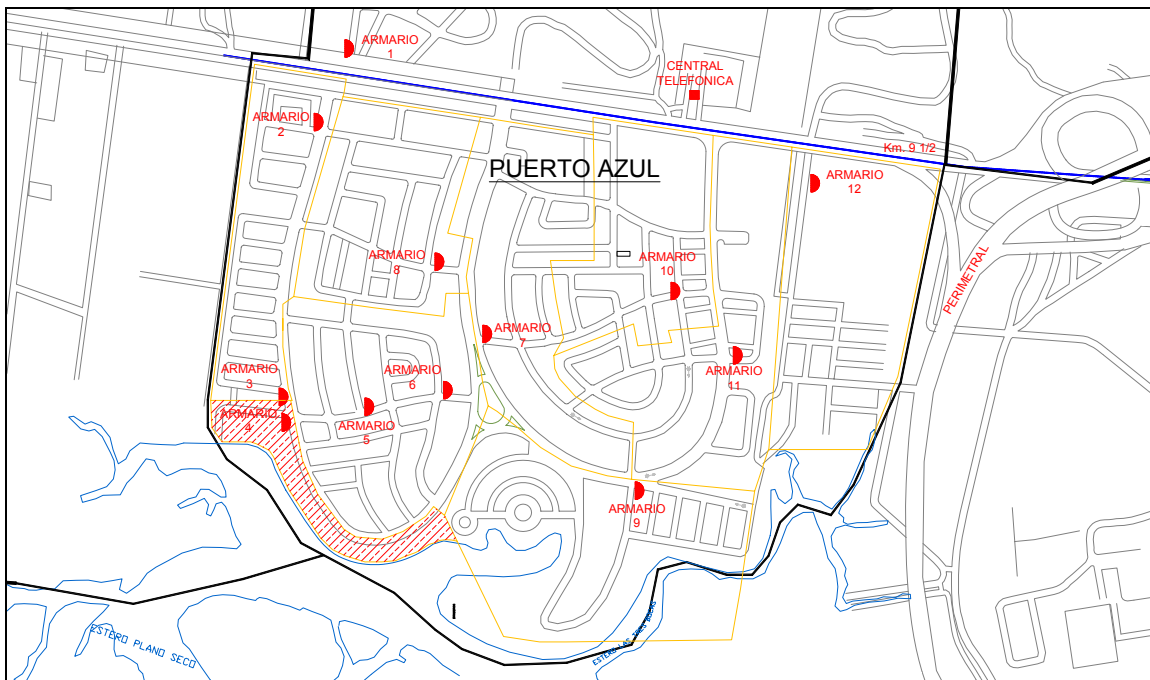


Figura A.1. Mapa de Zona No Explotada (resaltada con sombreado)

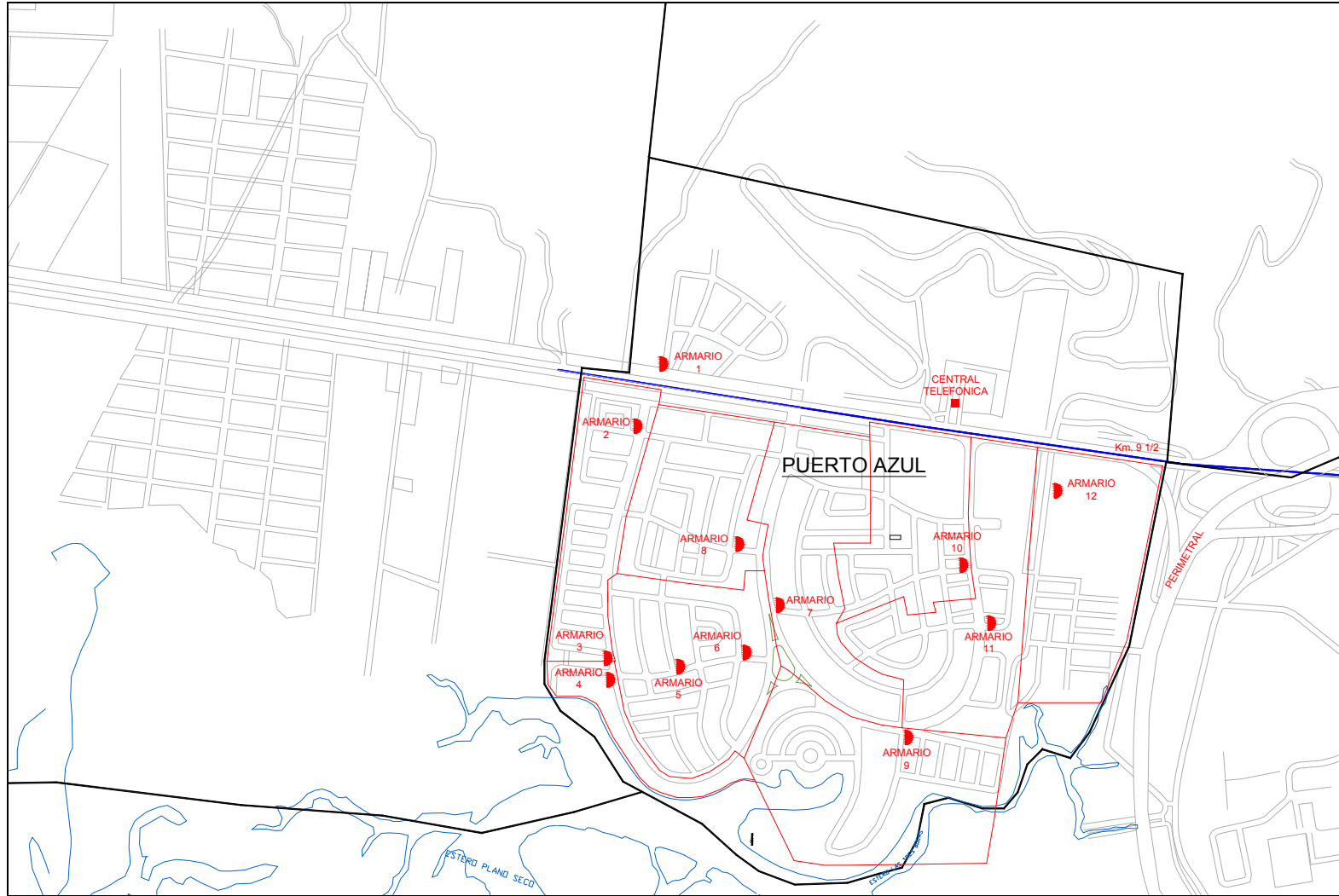


Figura A.2. Mapa de Cobertura Telefónica de la central

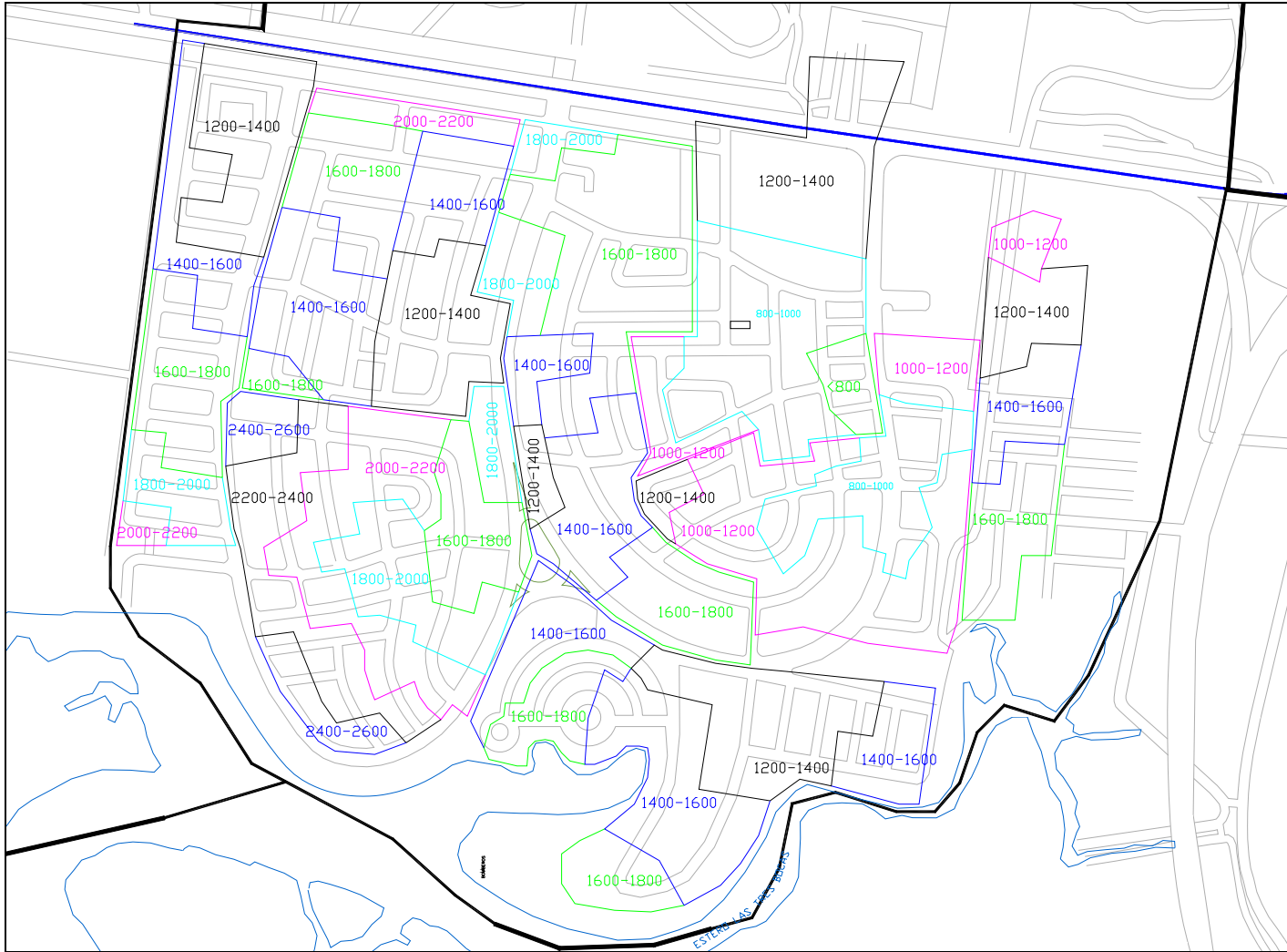


Figura A.3. Mapa de cobertura de servicio vs. distancias hacia la Oficina Central (rangos mostrados en metros)

ANEXO B – CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE LA LÍNEA

TABLA B.1. Tabla de Atenuación Por Longitud de Línea (Red Primaria + Red Secundaria)

Número de Armaturo	Caja Dispersión	Distancia Red Primaria (m)	Distancia Red Secundaria (m)	Distancia Total (Km)	Atenuación (dB/Km)																												
					Frecuencia (Khz)																												
					0.00	1.66	2.94	11.45	11.47	11.50	11.54	11.59	11.97	12.51	13.18	13.93	14.72	15.54	16.36	17.17	17.99	18.78	19.57	20.34	21.10	21.84	22.57	23.28	23.98	24.66	25.34	25.99	26.64
1	A1	918	3000	3.918	0.00	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
	A2	1295.6	715.9	2.0115	0.00	3.34	5.91	23.03	23.07	23.13	23.21	23.31	24.07	25.17	26.52	28.02	29.62	31.25	32.90	34.55	36.18	37.78	39.37	40.92	42.44	43.93	45.40	46.83	48.24	49.61	50.96	52.29	53.59
	A3	1295.6	616	1.9116	0.00	3.18	5.61	21.89	21.93	21.99	22.06	22.16	22.87	23.92	25.20	26.63	28.14	29.70	31.27	32.83	34.38	35.91	37.41	38.89	40.33	41.75	43.14	44.50	45.84	47.15	48.43	49.69	50.93
	A4	1295.6	628.6	1.9242	0.00	3.20	5.65	22.03	22.07	22.13	22.21	22.30	23.02	24.08	25.37	26.81	28.33	29.89	31.47	33.05	34.61	36.15	37.66	39.14	40.60	42.03	43.43	44.80	46.14	47.46	48.75	50.02	51.26
	A5	1295.6	577.6	1.8732	0.00	3.11	5.50	21.49	21.54	21.62	21.71	22.41	23.44	24.70	26.10	27.58	29.10	30.64	32.17	33.69	35.19	36.66	38.11	39.52	40.91	42.28	43.61	44.92	46.20	47.46	48.69	49.90	
	B1	1295.6	499.6	1.7952	0.00	2.98	5.27	20.56	20.59	20.65	20.72	20.81	21.48	22.47	23.67	25.01	26.43	27.89	29.36	30.83	32.29	33.72	35.13	36.52	37.88	39.21	40.52	41.79	43.05	44.28	45.48	46.66	47.82
	B2	1295.6	488.5	1.7841	0.00	2.96	5.24	20.43	20.47	20.52	20.59	20.68	21.35	22.33	23.52	24.86	26.27	27.72	29.18	30.64	32.09	33.51	34.92	36.29	37.64	38.97	40.26	41.54	42.78	44.00	45.20	46.38	47.53
	B3	1295.6	433.6	1.7292	0.00	2.87	5.08	19.80	19.84	19.89	19.96	20.04	20.69	21.64	22.80	24.09	25.46	26.87	28.28	29.70	31.10	32.48	33.84	35.18	36.49	37.77	39.03	40.26	41.47	42.65	43.81	44.95	46.07
	B4	1295.6	490.1	1.7857	0.00	2.97	5.25	20.45	20.48	20.54	20.61	20.70	21.37	22.35	23.54	24.88	26.29	27.74	29.21	30.67	32.12	33.54	34.95	36.33	37.68	39.00	40.30	41.57	42.82	44.04	45.24	46.42	47.57
	B5	1295.6	434.4	1.73	0.00	2.87	5.08	19.81	19.84	19.90	19.97	20.05	20.70	21.65	22.81	24.10	25.47	26.88	28.30	29.71	31.11	32.50	33.86	35.19	36.50	37.79	39.04	40.28	41.48	42.67	43.83	44.97	46.09
	C1	1295.6	435.8	1.7314	0.00	2.88	5.09	19.83	19.86	19.91	19.98	20.07	20.72	21.67	22.83	24.12	25.49	26.89	28.32	29.74	31.14	32.52	33.88	35.22	36.53	37.82	39.08	40.31	41.52	42.70	43.87	45.01	46.12
	C2	1295.6	399.9	1.6955	0.00	2.82	4.98	19.42	19.45	19.50	19.57	19.65	20.29	21.22	22.35	23.62	24.96	26.34	27.73	29.12	30.49	31.85	33.18	34.49	35.77	37.03	38.27	39.47	40.66	41.82	42.96	44.07	45.17
	C3	1295.6	344.7	1.6403	0.00	2.73	4.82	18.78	18.82	18.87	18.93	19.01	19.63	20.53	21.63	22.85	24.15	25.48	26.83	28.17	29.50	30.81	32.10	33.37	34.61	35.83	37.02	38.19	39.33	40.46	41.56	42.64	43.70
	C4	1295.6	338.8	1.6344	0.00	2.72	4.80	18.72	18.75	18.80	18.86	18.94	19.56	20.45	21.55	22.77	24.06	25.39	26.73	28.07	29.39	30.70	31.99	33.25	34.48	35.70	36.89	38.05	39.19	40.31	41.41	42.48	43.54
	C5	1295.6	313.8	1.6094	0.00	2.67	4.73	18.43	18.46	18.51	18.57	18.65	19.26	20.14	21.22	22.42	23.70	25.00	26.32	27.64	28.95	30.23	31.50	32.74	33.96	35.15	36.32	37.47	38.59	39.69	40.78	41.83	42.87
	D1	1295.6	286.6	1.5822	0.00	2.63	4.65	18.12	18.15	18.20	18.26	18.34	18.93	19.80	20.86	22.04	23.29	24.58	25.88	27.17	28.46	29.72	30.96	32.19	33.38	34.56	35.71	36.84	37.94	39.02	40.09	41.13	42.15
	D2	1295.6	331.2	1.6268	0.00	2.70	4.78	18.63	18.66	18.71	18.77	18.86	19.46	20.36	21.45	22.66	23.95	25.27	26.61	27.94	29.26	30.56	31.84	33.09	34.32	35.53	36.71	37.87	39.01	40.12	41.22	42.29	43.34
	D3	1295.6	313.4	1.609	0.00	2.67	4.73	18.42	18.46	18.51	18.57	18.65	19.25	20.14	21.21	22.42	23.69	25.00	26.32	27.63	28.94	30.22	31.49	32.73	33.95	35.14	36.31	37.46	38.58	39.68	40.76	41.82	42.86
	D4	1295.6	245.4	1.541	0.00	2.56	4.53	17.65	17.68	17.72	17.78	17.86	18.44	19.28	20.32	21.47	22.69	23.94	25.21	26.47	27.72	28.95	30.16	31.35	32.51	33.66	34.78	35.88	36.95	38.01	39.04	40.06	41.05
	D5	1295.6	222	1.5176	0.00	2.52	4.46	17.38	17.41	17.45	17.51	17.59	18.16	18.99	20.01	21.14	22.34	23.58	24.82	26.06	27.29	28.51	29.70	30.87	32.02	33.15	34.25	35.33	36.39	37.43	38.45	39.45	40.43
	E3	1295.6	84.8	1.3804	0.00	2.29	4.05	15.81	15.83	15.88	15.93	16.00	16.52	17.27	18.20	19.23	20.32	21.45	22.58	23.71	24.83	25.93	27.02	28.08	29.13	30.15	31.15	32.14	33.10	34.05	34.97	35.85	36.77
	E4	1295.6	212.8	1.5084	0.00	2.51	4.43	17.27	17.30	17.35	17.41	17.48	18.05	18.88	19.89	21.01	22.21	23.43	24.67	25.91	27.13	28.33	29.52	30.68	31.83	32.95	34.04	35.12	36.17	37.20	38.22	39.21	40.18
	E5	1295.6	102.9	1.3985	0.00	2.32	4.11	16.01	16.04	16.08	16.14	16.21	16.73	17.50	18.44	19.48	20.59	21.73	22.87	24.02	25.15	26.27	27.37	28.45	29.51	30.55	31.56	32.56	33.54	34.49	35.43	36.35	37.26
	F2	1295.6	71.8	1.3674	0.00	2.27	4.02	15.66	15.69	15.73	15.78	15.85	16.36	17.11	18.03	19.05	20.13	21.24	22.37	23.48	24.59	25.69	26.76	27.82	28.85	29.87	30.86	31.83	32.79	33.73	34.64	35.54	36.43
	F3	1295.6	47	1.3426	0.00	2.23	3.94	15.37	15.40	15.44	15.50	15.56	16.06	16.80	17.70	18.70	19.77	20.88	22.06	23.24	24.41	25.52	26.62	27.71	28.73	29.72	30.70	31.66	32.60	33.51	34.42	35.30	36.17
	F4	1295.6	39.9	1.3355	0.00	2.22	3.92	15.29	15.32	15.36	15.41	15.48	15.98	16.71	17.61	18.61	19.66	20.75	21.84	22.94	24.04	25.09	26.14	27.17	28.18	29.17	30.14	31.09	32.02	32.94	33.84	34.72	35.58
F5	1295.6	19.9	1.3146	0.00	2.18	3.86	15.05	15.08	15.12	15.17	15.24	15.73	16.45	17.33	18.31	19.36	20.42	21.50	22.58	23.64	24.69	25.73	26.74	27.74	28.71	29.67	30.61	31.52	32.42	33.31	34.17	35.02	
G1	1295.6	85.7	1.3813	0.00	2.30	4.06	15.82	15.84	15.89	15.94	16.01	16.53	17.29	18.21	19.24	20.34	21.46	22.59	23.72	24.84	25.95	27.03	28.10	29.14	30.17	31.17	32.16	33.12	34.07	35.00	35.91	36.80	
G2	1295.6	61.7	1.3573	0.00	2.26	3.99	15.54	15.57	15.61	15.66	15.73	16.23	16.99	17.90	18.91	19.94	21.09	22.20	23.31	24.41	25.50	26.56	27.61	28.64	29.65	30.63	31.60	32.55	33.48	34.39	35.28	36.16	
G3	1295.6	154.6	1.4502	0.00	2.41	4.26	16.61	16.64	16.68	16.74	16.81	17.35	18.15	19.12	20.20	21.35	22.53	23.72	24.91	26.08	27.24	28.38	29.50	30.60	31.67	32.73	33.76	34.78	35.77	36.74	37.70	38.63	
G4	1295.6	115.4	1.411	0.00	2.34	4.14	16.16	16.19	16.23	16.28	16.35	16.88	17.68	18.60	19.66	20.77	21.92	23.08	24.23	25.38	26.50	27.61	28.70	29.77	30.82	31.84	32.85	33.84	34.80	35.75	36.68	37.59	
G5	1295.6	34	1.3296	0.00	2.21	3.91	15.23	15.25	15.29	15.34	15.41	15.91	16.64	17.53	18.52	19.58	20.66	21.75	22.84	23.91	24.98	26.02	27.05	28.05	29.04	30.01	30.95	31.88	32.79	33.69	34.56	35.42	
3	1954.6	0	1.9546	0.00	3.25	5.74	22.38	22.42	22.48	22.56	22.65	23.39	24.46	25.77	27.23	28.78	30.37	31.97	33.57	35.15	36.72	38.25	39.76	41.24	42.69	44.11	45.51	46.87	48.21	49.52	50.81	52.07	
4	1918.2	0	1.9182	0.00	3.19	5.63	21.97	22.00	22.06	22.14	22.23	22.95	24.00	25.29	26.72	28.24	29.80	31.37	32.94	34.50	36.03	37.54	39.02	40.47	41.90	43.29	44.66	46.00	47.31	48.60	49.86	51.10	
5	1724.7	0	1.7247	0.00	2.87	5.07	19.75	19.78	19.84	19.90	19.99	20.64	21.58	22.74	24.03	25.39	26.80	28.21	29.62	31.02	32.40	33.75	35.08	36.39	37.67	38.92	40.15	41.36	42.54	43.70	44.83	45.95	
6	A1	1526	0	1.526	0.00	2.54	4.48	17.47	17.50	17.55	17.61	17.69	18.26	19																			

Número de Armario	Caja Dispersion	Distancia Red Primaria (m)	Distancia Red Secundaria (m)	Distancia Total (Km)	Atenuación (dB/Km)																												
					0.00	1.66	2.94	11.45	11.47	11.50	11.54	11.59	11.97	12.51	13.18	13.93	14.72	15.54	16.36	17.17	17.99	18.78	19.57	20.34	21.10	21.84	22.57	23.28	23.98	24.66	25.34	25.99	26.64
					Frecuencia (Khz)																												
					0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
6	E4	1526	844.6	2.3706	0.00	3.94	6.96	27.15	27.19	27.26	27.36	27.48	28.36	29.67	31.26	33.03	34.90	36.83	38.77	40.71	42.64	44.53	46.39	48.22	50.02	51.78	53.50	55.19	56.85	58.47	60.06	61.62	63.15
	E5	1526	680.6	2.2066	0.00	3.67	6.48	25.27	25.31	25.38	25.47	25.58	26.40	27.61	29.09	30.74	32.49	34.28	36.09	37.90	39.69	41.45	43.18	44.89	46.56	48.20	49.80	51.37	52.91	54.42	55.91	57.36	58.78
	F1	1526	874.6	2.4006	0.00	3.99	7.05	27.49	27.54	27.61	27.71	27.82	28.72	30.04	31.65	33.44	35.34	37.30	39.27	41.23	43.18	45.09	46.98	48.83	50.65	52.43	54.18	55.89	57.57	59.21	60.82	62.40	63.95
	F2	1526	770.6	2.2966	0.00	3.82	6.75	26.30	26.34	26.41	26.51	26.62	27.48	28.74	30.28	32.00	33.81	35.68	37.56	39.44	41.30	43.14	44.95	46.72	48.46	50.16	51.83	53.47	55.07	56.64	58.19	59.70	61.18
	F3	1526	722.2	2.2482	0.00	3.74	6.60	25.74	25.79	25.86	25.95	26.06	26.90	28.13	29.64	31.32	33.10	34.93	36.77	38.61	40.43	42.23	44.00	45.73	47.44	49.10	50.74	52.34	53.91	55.45	56.96	58.44	59.89
	F4	1526	602.2	2.1282	0.00	3.54	6.25	24.37	24.41	24.48	24.56	24.67	25.46	26.63	28.06	29.65	31.33	33.06	34.81	36.55	38.28	39.98	41.65	43.29	44.90	46.48	48.03	49.55	51.03	52.49	53.92	55.32	56.70
	F5	1526	428.2	1.9542	0.00	3.25	5.74	22.38	22.42	22.48	22.55	22.65	23.38	24.45	25.77	27.23	28.77	30.36	31.96	33.56	35.15	36.71	38.24	39.75	41.23	42.68	44.10	45.50	46.86	48.20	49.51	50.80	52.06
	G1	1526	755.6	2.2816	0.00	3.79	6.70	26.13	26.17	26.24	26.33	26.44	27.30	28.55	30.08	31.79	33.59	35.45	37.32	39.19	41.03	42.86	44.65	46.41	48.14	49.83	51.49	53.12	54.71	56.27	57.81	59.31	60.78
	G2	1526	705.6	2.2316	0.00	3.71	6.55	25.55	25.60	25.67	25.76	25.87	26.70	27.93	29.42	31.09	32.86	34.67	36.50	38.33	40.14	41.92	43.67	45.40	47.09	48.74	50.36	51.95	53.51	55.04	56.54	58.01	59.45
	G3	1526	651.6	2.1776	0.00	3.62	6.40	24.94	24.98	25.04	25.13	25.24	26.06	27.25	28.71	30.34	32.06	33.83	35.62	37.40	39.16	40.90	42.62	44.30	45.95	47.56	49.15	50.70	52.22	53.71	55.17	56.60	58.01
	G4	1526	509.6	2.0356	0.00	3.38	5.98	23.31	23.35	23.41	23.49	23.59	24.36	25.47	26.84	28.36	29.97	31.63	33.30	34.96	36.61	38.24	39.84	41.41	42.95	44.46	45.94	47.39	48.81	50.21	51.57	52.91	54.23
	G5	1526	368.2	1.8942	0.00	3.15	5.56	21.69	21.73	21.79	21.86	21.95	22.66	23.70	24.97	26.39	27.89	29.43	30.98	32.53	34.07	35.58	37.07	38.53	39.97	41.37	42.75	44.10	45.42	46.72	47.99	49.24	50.46
	H1	1526	0	1.526	0.00	2.54	4.48	17.47	17.50	17.55	17.61	17.69	18.28	19.10	20.12	21.26	22.47	23.71	24.96	26.21	27.45	28.67	29.86	31.04	32.20	33.33	34.44	35.53	36.59	37.64	38.66	39.67	40.65
	H2	1526	0	1.526	0.00	2.54	4.48	17.47	17.50	17.55	17.61	17.69	18.28	19.10	20.12	21.26	22.47	23.71	24.96	26.21	27.45	28.67	29.86	31.04	32.20	33.33	34.44	35.53	36.59	37.64	38.66	39.67	40.65
	H3	1526	518.2	2.0442	0.00	3.40	6.00	23.41	23.45	23.51	23.59	23.69	24.46	25.58	26.95	28.48	30.10	31.76	33.44	35.11	36.77	38.40	40.01	41.58	43.13	44.65	46.13	47.59	49.02	50.42	51.79	53.14	54.46
	H4	1526	328.2	1.8542	0.00	3.08	5.45	21.23	21.27	21.33	21.40	21.49	22.19	23.20	24.45	25.83	27.30	28.81	30.33	31.85	33.35	34.83	36.29	37.72	39.12	40.50	41.85	43.17	44.46	45.73	46.98	48.20	49.40
	H5	1526	220.2	1.7462	0.00	2.90	5.13	20.00	20.03	20.08	20.15	20.24	20.89	21.85	23.02	24.33	25.71	27.13	28.56	29.99	31.41	32.80	34.17	35.52	36.84	38.14	39.41	40.65	41.87	43.07	44.24	45.39	46.52
	I1	1526	387.2	1.9132	0.00	3.18	5.62	21.91	21.95	22.00	22.08	22.17	22.89	23.94	25.22	26.65	28.17	29.72	31.29	32.86	34.41	35.94	37.44	38.92	40.37	41.79	43.18	44.54	45.88	47.19	48.47	49.73	50.97
	I2	1526	304.2	1.8302	0.00	3.04	5.38	20.96	20.99	21.05	21.12	21.21	21.90	22.90	24.13	25.50	26.95	28.43	29.94	31.43	32.92	34.38	35.82	37.23	38.62	39.97	41.31	42.61	43.89	45.14	46.37	47.57	48.76
	I3	1526	208	1.734	0.00	2.88	5.09	19.86	19.89	19.94	20.01	20.10	20.75	21.70	22.86	24.16	25.53	26.94	28.36	29.78	31.19	32.57	33.94	35.27	36.59	37.87	39.13	40.37	41.58	42.77	43.93	45.07	46.19
	I4	1526	309.8	1.8358	0.00	3.05	5.39	21.02	21.06	21.11	21.19	21.28	21.97	22.97	24.20	25.58	27.03	28.52	30.03	31.53	33.02	34.48	35.93	37.34	38.73	40.10	41.43	42.74	44.02	45.28	46.51	47.72	48.91
	I5	1526	180.6	1.7066	0.00	2.84	5.01	19.54	19.58	19.63	19.70	19.78	20.42	21.36	22.50	23.78	25.13	26.51	27.91	29.31	30.69	32.06	33.40	34.72	36.01	37.27	38.52	39.73	40.92	42.09	43.24	44.36	45.46
	J1	1526	415.4	1.9414	0.00	3.23	5.70	22.23	22.27	22.33	22.41	22.50	23.23	24.29	25.60	27.05	28.58	30.16	31.75	33.34	34.92	36.47	37.99	39.49	40.96	42.40	43.81	45.20	46.57	47.88	49.19	50.46	51.72
J2	1526	255.8	1.7818	0.00	2.96	5.23	20.40	20.44	20.49	20.56	20.65	21.32	22.30	23.49	24.82	26.23	27.68	29.14	30.60	32.05	33.47	34.87	36.25	37.59	38.92	40.21	41.48	42.73	43.95	45.14	46.32	47.47	
J3	1526	195.8	1.7218	0.00	2.86	5.06	19.72	19.75	19.80	19.87	19.96	20.60	21.50	22.70	23.99	25.35	26.75	28.16	29.57	30.97	32.34	33.70	35.03	36.33	37.61	38.86	40.09	41.29	42.47	43.62	44.76	45.87	
J4	1526	76	1.602	0.00	2.66	4.71	18.34	18.38	18.42	18.49	18.57	19.17	20.05	21.12	22.32	23.59	24.89	26.20	27.51	28.81	30.09	31.35	32.59	33.80	34.99	36.15	37.30	38.42	39.51	40.59	41.64	42.68	
J5	1526	0	1.526	0.00	2.54	4.48	17.47	17.50	17.55	17.61	17.69	18.26	19.10	20.12	21.22	22.47	23.71	24.96	26.21	27.45	28.67	29.86	31.04	32.20	33.33	34.44	35.53	36.59	37.64	38.66	39.67	40.65	
7	A1	1344.4	419.7	1.7641	0.00	2.93	5.18	20.20	20.24	20.29	20.36	20.45	21.11	22.08	23.26	24.58	25.97	27.41	28.85	30.30	31.73	33.14	34.52	35.89	37.22	38.53	39.81	41.07	42.30	43.51	44.69	45.86	47.00
	A2	1344.4	371.2	1.7156	0.00	2.85	5.04	19.65	19.68	19.73	19.80	19.88	20.53	21.47	22.62	23.96	25.37	26.81	28.26	29.70	31.14	32.53	33.88	35.20	36.50	37.77	39.02	40.24	41.41	42.56	43.67	44.76	45.80
	A3	1344.4	354.2	1.6986	0.00	2.82	4.99	19.45	19.48	19.54	19.60	19.69	20.32	21.26	22.40	23.66	25.01	26.39	27.78	29.17	30.55	31.91	33.24	34.55	35.84	37.10	38.34	39.55	40.73	41.89	43.04	44.15	45.25
	A4	1344.4	354.2	1.6986	0.00	2.82	4.99	19.45	19.48	19.54	19.60	19.69	20.32	21.26	22.40	23.66	25.01	26.39	27.78	29.17	30.55	31.91	33.24	34.55	35.84	37.10	38.34	39.55	40.73	41.89	43.04	44.15	45.25
	A5	1344.4	264.2	1.6086	0.00	2.67	4.72	18.42	18.45	18.50	18.56	18.64	19.25	20.13	21.21	22.41	23.68	24.99	26.31	27.63	28.93	30.22	31.48	32.72	33.94	35.13	36.30	37.45	38.57	39.67	40.75	41.81	42.85
	B1	1344.4	362.2	1.7066	0.00	2.84	5.01	19.54	19.58	19.63	19.70	19.78	20.42	21.36	22.50	23.78	25.13	26.51	27.91	29.31	30.69	32.06	33.40	34.72	36.01	37.27	38.52	39.73	40.92	42.09	43.24	44.36	45.46
	B2	1344.4	322.2	1.6666	0.00	2.77	4.90	19.08	19.12	19.17	19.23	19.32	19.94	20.86	21.97	23.22	24.54	25.89	27.26	28.62	29.97	31.31	32.62	33.90	35.16	36.40	37.61	38.80	39.96	41.11	42.22	43.32	44.40
	B3	1344.4	213.9	1.5583	0.00	2.59	4.58	17.84	17.88	17.92	17.98	18.06	18.65	19.50	20.55	21.71	22.94	24.21	25.49														

Número de Armario	Caja Dispersion	Distancia Red Primaria (m)	Distancia Red Secundaria (m)	Distancia Total (Km)	Atenuación (dB/Km)																													
					0.00	1.66	2.94	11.45	11.47	11.50	11.54	11.59	11.97	12.51	13.18	13.93	14.72	15.54	16.36	17.17	17.99	18.78	19.57	20.34	21.10	21.84	22.57	23.28	23.98	24.66	25.34	25.99	26.64	
					Frecuencia (Khz)																													
		0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100				
8	A2	1231.2	293.4	1.5246	0.00	2.53	4.48	17.46	17.49	17.53	17.60	17.67	18.24	19.08	20.10	21.24	22.45	23.69	24.94	26.18	27.42	28.64	29.84	31.01	32.17	33.30	34.41	35.49	36.56	37.60	38.63	39.63	40.62	
	A3	1231.2	458.5	1.6897	0.00	2.81	4.96	19.35	19.43	19.50	19.58	20.22	21.14	22.28	23.54	24.88	26.25	27.64	29.02	30.39	31.74	33.07	34.37	35.65	36.91	38.13	39.34	40.52	41.68	42.81	43.92	45.01		
	A4	1231.2	402.1	1.6333	0.00	2.71	4.80	18.70	18.74	18.78	18.85	18.93	19.54	20.44	21.53	22.75	24.05	25.38	26.71	28.05	29.38	30.68	31.96	33.23	34.46	35.67	36.86	38.03	39.17	40.28	41.38	42.46	43.51	
	A5	1231.2	318.8	1.55	0.00	2.58	4.55	17.75	17.78	17.83	17.89	17.97	18.55	19.40	20.44	21.59	22.82	24.12	25.46	26.81	28.15	29.48	30.81	32.13	33.45	34.70	35.95	37.17	38.32	39.47	40.62	41.79	42.92	
	B1	1231.2	293.8	1.525	0.00	2.53	4.48	17.46	17.49	17.54	17.60	17.68	18.25	19.08	20.11	21.25	22.45	23.69	24.94	26.19	27.43	28.65	29.85	31.02	32.18	33.31	34.42	35.50	36.57	37.61	38.64	39.64	40.63	
	B2	1231.2	247.1	1.4783	0.00	2.46	4.34	16.93	16.96	17.00	17.06	17.13	17.69	18.50	19.49	20.60	21.77	22.97	24.18	25.39	26.59	27.77	28.93	30.07	31.19	32.29	33.36	34.42	35.45	36.46	37.45	38.43	39.38	
	B3	1231.2	303	1.5342	0.00	2.55	4.51	17.57	17.60	17.64	17.71	17.78	18.36	19.20	20.23	21.37	22.59	23.84	25.09	26.35	27.59	28.82	30.03	31.21	32.37	33.51	34.62	35.72	36.79	37.84	38.87	39.88	40.87	
	B4	1231.2	255	1.4862	0.00	2.47	4.37	17.02	17.05	17.09	17.15	17.23	17.78	18.60	19.59	20.71	21.88	23.09	24.31	25.52	26.73	27.92	29.09	30.23	31.36	32.46	33.54	34.60	35.64	36.66	37.65	38.63	39.59	
	B5	1231.2	230.7	1.4619	0.00	2.43	4.29	16.74	16.77	16.81	16.87	16.94	17.49	18.29	19.27	20.37	21.52	22.71	23.91	25.11	26.29	27.46	28.61	29.74	30.85	31.93	32.99	34.03	35.06	36.06	37.04	38.00	38.95	
	C1	1231.2	267	1.4982	0.00	2.49	4.40	17.16	17.19	17.23	17.29	17.36	17.93	18.75	19.75	20.87	22.06	23.28	24.51	25.73	26.95	28.14	29.32	30.48	31.61	32.72	33.81	34.88	35.93	36.95	37.96	38.94	39.91	
	C2	1231.2	227.2	1.4584	0.00	2.42	4.28	16.70	16.73	16.77	16.83	16.90	17.45	18.25	19.23	20.32	21.47	22.66	23.85	25.05	26.23	27.40	28.54	29.67	30.77	31.85	32.91	33.95	34.97	35.97	36.95	37.91	38.85	
	C3	1231.2	269.5	1.5007	0.00	2.49	4.41	17.18	17.21	17.26	17.32	17.39	17.96	18.78	19.79	20.91	22.10	23.32	24.55	25.77	26.99	28.19	29.37	30.53	31.66	32.78	33.87	34.94	35.99	37.01	38.02	39.01	39.98	
	C4	1231.2	196	1.4272	0.00	2.37	4.19	16.34	16.37	16.41	16.47	16.54	17.08	17.86	18.82	19.88	21.01	22.17	23.34	24.51	25.67	26.81	27.93	29.03	30.11	31.17	32.21	33.23	34.22	35.20	36.16	37.10	38.02	
	C5	1231.2	147.2	1.3784	0.00	2.29	4.05	15.78	15.81	15.85	15.91	15.98	16.49	17.25	18.17	19.20	20.29	21.42	22.55	23.67	24.79	25.89	26.98	28.04	29.08	30.11	31.11	32.09	33.03	34.00	34.92	35.83	36.72	
	D1	1231.2	179.8	1.411	0.00	2.34	4.14	16.16	16.19	16.23	16.28	16.35	16.88	17.66	18.60	19.66	20.77	21.92	23.08	24.23	25.38	26.50	27.61	28.70	29.77	30.82	31.84	32.85	33.84	34.80	35.75	36.68	37.59	
	D2	1231.2	137.1	1.3683	0.00	2.27	4.02	15.67	15.70	15.74	15.79	15.86	16.37	17.12	18.04	19.06	20.15	21.26	22.38	23.50	24.61	25.70	26.78	27.83	28.87	29.89	30.88	31.86	32.81	33.75	34.67	35.57	36.45	
	D3	1231.2	94.4	1.3256	0.00	2.20	3.89	15.18	15.21	15.25	15.30	15.36	15.86	16.59	17.48	18.44	19.46	20.52	21.59	22.65	23.70	24.74	25.76	26.77	27.77	28.75	29.72	30.68	31.61	32.52	33.42	34.31	35.19	36.07
	D4	1231.2	64	1.2952	0.00	2.15	3.80	14.83	14.86	14.90	14.95	15.01	15.50	16.21	17.08	18.04	19.07	20.12	21.18	22.24	23.29	24.33	25.35	26.35	27.33	28.29	29.23	30.15	31.06	31.95	32.81	33.67	34.50	
	D5	1231.2	39.1	1.2703	0.00	2.11	3.73	14.55	14.57	14.61	14.66	14.72	15.20	15.90	16.75	17.70	18.70	19.74	20.78	21.82	22.85	23.86	24.86	25.84	26.80	27.75	28.67	29.57	30.46	31.33	32.18	33.02	33.84	
	E2	1231.2	442.9	1.6741	0.00	2.78	4.92	19.17	19.20	19.25	19.32	19.40	20.03	20.95	22.07	23.32	24.65	26.01	27.38	28.75	30.11	31.45	32.76	34.06	35.32	36.56	37.78	38.98	40.14	41.29	42.41	43.52	44.60	
	E3	1231.2	404.7	1.6359	0.00	2.72	4.81	18.73	18.77	18.81	18.88	18.96	19.57	20.47	21.57	22.79	24.09	25.42	26.76	28.10	29.42	30.73	32.02	33.28	34.52	35.73	36.92	38.09	39.23	40.35	41.45	42.52	43.58	
	E4	1231.2	423.4	1.6546	0.00	2.75	4.86	18.95	18.98	19.03	19.10	19.18	19.80	20.71	21.82	23.05	24.36	25.71	27.06	28.42	29.76	31.08	32.38	33.66	34.91	36.14	37.34	38.52	39.68	40.81	41.92	43.01	44.08	
	E5	1231.2	342.9	1.5741	0.00	2.62	4.62	18.02	18.06	18.10	18.17	18.24	18.83	19.70	20.75	21.93	23.18	24.46	25.75	27.03	28.31	29.57	30.81	32.02	33.21	34.38	35.53	36.65	37.75	38.82	39.88	40.92	41.93	
	F1	1231.2	285.3	1.5165	0.00	2.52	4.45	17.37	17.40	17.44	17.50	17.58	18.15	18.98	19.99	21.13	22.33	23.56	24.80	26.05	27.27	28.49	29.68	30.85	32.00	33.12	34.23	35.31	36.37	37.40	38.42	39.42	40.40	
	F3	1231.2	241.8	1.473	0.00	2.45	4.33	16.87	16.90	16.94	17.00	17.07	17.62	18.43	19.42	20.52	21.69	22.88	24.09	25.29	26.47	27.67	28.83	29.96	31.08	32.17	33.24	34.29	35.32	36.33	37.32	38.29	39.24	
	F4	1231.2	143.5	1.3747	0.00	2.28	4.04	15.74	15.77	15.81	15.87	15.93	16.45	17.20	18.12	19.15	20.24	21.36	22.49	23.61	24.72	25.82	26.90	27.96	29.01	30.03	31.03	32.00	32.96	33.91	34.83	35.73	36.62	
	F5	1231.2	98.4	1.3296	0.00	2.21	3.91	15.23	15.25	15.29	15.34	15.41	15.91	16.64	17.53	18.52	19.58	20.66	21.75	22.84	23.91	24.98	26.02	27.05	28.05	29.04	30.01	30.95	31.88	32.79	33.69	34.56	35.42	
	G2	1231.2	541.7	1.7729	0.00	2.95	5.21	20.30	20.34	20.39	20.46	20.55	21.21	22.19	23.37	24.70	26.10	27.54	29.00	30.45	31.89	33.30	34.70	36.07	37.41	38.72	40.01	41.28	42.51	43.73	44.92	46.08	47.23	
	G3	1231.2	460.2	1.6914	0.00	2.81	4.97	19.37	19.40	19.45	19.52	19.60	20.24	21.17	22.30	23.56	24.90	26.27	27.67	29.05	30.42	31.77	33.10	34.41	35.69	36.94	38.17	39.38	40.56	41.72	42.85	43.97	45.06	
	G4	1231.2	431	1.6622	0.00	2.76	4.88	19.03	19.07	19.12	19.18	19.27	19.89	20.80	21.92	23.16	24.47	25.82	27.19	28.55	29.89	31.22	32.53	33.81	35.07	36.30	37.51	38.70	39.86	41.00	42.11	43.21	44.28	
	H1	1231.2	274.5	1.5057	0.00	2.50	4.42	17.24	17.27	17.32	17.38	17.45	18.02	18.84	19.85	20.98	22.17	23.39	24.63	25.86	27.08	28.28	29.47	30.63	31.77	32.89	33.98	35.05	36.11	37.14	38.15	39.14	40.11	
	H2	1231.2	199.2	1.4304	0.00	2.38	4.20	16.38	16.41	16.45	16.51	16.58	17.11	17.90	18.86	19.93	21.06	22.22	23.40	24.57	25.73	26.87	27.99	29.10	30.18	31.24	32.28	33.30	34.30	35.28	36.24	37.18	38.11	
H3	1231.2	128.3	1.3595	0.00	2.26	3.99	15.57	15.59	15.64	15.69	15.76	16.27	17.01	17.92	18.94	20.02	21.12	22.24	23.35	24.45	25.54	26.61	27.66	28.68	29.69	30.68	31.65	32.60	33.53	34.44	35.34	36.22		
H4	1231.2	99.3	1.3305	0.00	2.21	3.91	15.24	15.26	15.30	15.36	15.42	15.92	16.65	17.54	18.54	19.59	20.67	21.76	22.85	23.93	24.99	26.04	27.07	28.07	29.06	30.03	30.98	31.90	32.82	33.71	34.59	35.44		
H5	1231.2	16	1.2472	0.00	2.07	3.66	14.28	14.31	14.34	14.39	14.46	14.92	15.61	16.44	17.38	18.36	19.38	20.40	21.42	22.45	23.43	24.41												

Número de Armario	Caja Dispersion	Distancia Red Primaria (m)	Distancia Red Secundaria (m)	Distancia Total (Km)	Atenuación (dB/Km)																												
					0.00	1.66	2.94	11.45	11.47	11.50	11.54	11.59	11.97	12.51	13.18	13.93	14.72	15.54	16.36	17.17	17.99	18.78	19.57	20.34	21.10	21.84	22.57	23.28	23.98	24.66	25.34	25.99	26.64
					Frecuencia (Khz)																												
9	F1	1215.1	146.7	1.3618	0.00	2.26	4.00	15.59	15.62	15.66	15.72	15.78	16.29	17.04	17.95	18.97	20.05	21.16	22.27	23.39	24.49	25.58	26.65	27.70	28.73	29.74	30.73	31.70	32.66	33.59	34.50	35.40	36.28
	F2	1215.1	178.5	1.3936	0.00	2.32	4.09	15.96	15.99	16.03	16.08	16.15	16.67	17.44	18.37	19.42	20.52	21.65	22.79	23.93	25.06	26.18	27.27	28.35	29.40	30.44	31.45	32.44	33.42	34.37	35.31	36.23	37.13
	F3	1215.1	96.7	1.3118	0.00	2.18	3.85	15.02	15.05	15.09	15.14	15.20	15.70	16.42	17.30	18.28	19.31	20.38	21.43	22.52	23.59	24.64	25.67	26.69	27.68	28.65	29.61	30.54	31.46	32.35	33.24	34.10	34.95
	F4	1215.1	113.4	1.3285	0.00	2.21	3.90	15.21	15.24	15.28	15.33	15.40	15.90	16.62	17.52	18.51	19.56	20.64	21.73	22.82	23.89	24.96	26.00	27.02	28.03	29.02	29.98	30.93	31.86	32.77	33.66	34.53	35.39
	F5	1215.1	44.4	1.2595	0.00	2.09	3.70	14.42	14.45	14.49	14.54	14.60	15.07	15.76	16.61	17.55	18.54	19.57	20.60	21.63	22.65	23.66	24.65	25.62	26.57	27.51	28.43	29.32	30.20	31.06	31.91	32.74	33.55
	A1	689.1	435.4	1.1245	0.00	1.87	3.30	12.88	12.90	12.93	12.98	13.03	13.45	14.07	14.83	15.67	16.56	17.47	18.39	19.31	20.22	21.12	22.01	22.88	23.73	24.56	25.38	26.18	26.97	27.73	28.49	29.23	29.96
	A2	689.1	383.7	1.0728	0.00	1.78	3.15	12.28	12.31	12.34	12.38	12.43	12.84	13.43	14.14	14.95	15.79	16.67	17.55	18.42	19.29	20.15	21.00	21.82	22.64	23.43	24.21	24.98	25.73	26.46	27.18	27.89	28.58
	A3	689.1	298.8	0.9879	0.00	1.64	2.90	11.31	11.33	11.36	11.40	11.45	11.82	12.36	13.02	13.76	14.55	15.35	16.16	16.97	17.77	18.56	19.33	20.10	20.84	21.58	22.30	23.00	23.69	24.37	25.03	25.68	26.32
	A4	689.1	351.3	1.0404	0.00	1.73	3.06	11.91	11.93	11.97	12.01	12.06	12.45	13.02	13.72	14.49	15.32	16.16	17.02	17.87	18.71	19.54	20.36	21.16	21.95	22.72	23.48	24.22	24.95	25.66	26.36	27.04	27.72
B4	689.1	306.4	0.9955	0.00	1.65	2.92	11.40	11.42	11.45	11.49	11.54	11.92	12.46	13.13	13.87	14.66	15.47	16.28	17.10	17.90	18.70	19.48	20.25	21.00	21.74	22.47	23.18	23.87	24.55	25.22	25.88	26.52	
B5	689.1	273.4	0.9625	0.00	1.60	2.83	11.02	11.04	11.07	11.11	11.16	11.52	12.04	12.69	13.41	14.17	14.95	15.74	16.53	17.31	18.08	18.84	19.58	20.31	21.02	21.72	22.41	23.08	23.74	24.39	25.02	25.64	
C1	689.1	202.7	0.8918	0.00	1.48	2.62	10.21	10.23	10.26	10.29	10.34	10.67	11.16	11.76	12.42	13.13	13.86	14.59	15.32	16.04	16.75	17.45	18.14	18.82	19.48	20.13	20.76	21.39	22.00	22.59	23.18	23.76	
C2	689.1	147.3	0.8364	0.00	1.39	2.46	9.58	9.59	9.62	9.65	9.69	10.01	10.47	11.03	11.65	12.31	12.99	13.68	14.36	15.04	15.71	16.37	17.01	17.65	18.27	18.88	19.47	20.06	20.63	21.19	21.74	22.28	
C3	689.1	112.8	0.8019	0.00	1.33	2.36	9.18	9.20	9.22	9.25	9.29	9.59	10.03	10.57	11.17	11.81	12.46	13.12	13.77	14.42	15.06	15.69	16.31	16.92	17.51	18.10	18.67	19.23	19.78	20.32	20.84	21.36	
C5	689.1	133.5	0.8226	0.00	1.37	2.42	9.42	9.44	9.46	9.49	9.53	9.84	10.29	10.85	11.46	12.11	12.78	13.45	14.13	14.79	15.45	16.10	16.73	17.36	17.97	18.56	19.15	19.73	20.29	20.84	21.38	21.91	
D1	689.1	63.5	0.7528	0.00	1.25	2.21	8.62	8.63	8.66	8.69	8.72	9.00	9.42	9.92	10.49	11.08	11.69	12.31	12.93	13.54	14.14	14.73	15.31	15.88	16.44	16.99	17.52	18.05	18.56	19.07	19.56	20.05	
D2	689.1	114.5	0.8036	0.00	1.34	2.36	9.20	9.22	9.24	9.27	9.31	9.62	10.06	10.60	11.20	11.83	12.48	13.14	13.80	14.45	15.10	15.73	16.35	16.96	17.55	18.14	18.71	19.27	19.82	20.36	20.89	21.41	
D3	689.1	115.6	0.8047	0.00	1.34	2.36	9.21	9.23	9.25	9.29	9.33	9.63	10.07	10.61	11.21	11.85	12.50	13.16	13.82	14.47	15.12	15.76	16.37	16.98	17.58	18.16	18.73	19.30	19.85	20.39	20.92	21.44	
D4	689.1	55.3	0.7444	0.00	1.24	2.19	8.52	8.54	8.56	8.59	8.63	8.91	9.32	9.81	10.37	10.96	11.57	12.18	12.82	13.48	14.15	14.81	15.47	16.12	16.76	17.39	18.02	18.64	19.25	19.85	20.45	21.05	
D5	689.1	10	0.6991	0.00	1.16	2.05	8.01	8.02	8.04	8.07	8.10	8.36	8.75	9.22	9.74	10.29	10.86	11.43	12.01	12.57	13.13	13.68	14.22	14.75	15.27	15.78	16.28	16.76	17.24	17.71	18.17	18.62	
E1	689.1	536.2	1.2253	0.00	2.04	3.60	14.03	14.06	14.09	14.14	14.20	14.66	15.33	16.15	17.07	18.04	19.04	20.04	21.04	22.04	23.02	23.98	24.93	25.85	26.76	27.65	28.53	29.38	30.22	31.04	31.85	32.64	
E2	689.1	306	0.9951	0.00	1.65	2.92	11.39	11.41	11.44	11.48	11.53	11.91	12.43	13.12	13.86	14.65	15.46	16.28	17.09	17.90	18.69	19.47	20.24	21.00	21.73	22.46	23.17	23.86	24.54	25.21	25.87	26.51	
E3	689.1	280.5	0.9696	0.00	1.61	2.85	11.10	11.12	11.15	11.19	11.24	11.60	12.13	12.78	13.51	14.28	15.06	15.86	16.65	17.44	18.21	18.98	19.72	20.46	21.18	21.88	22.57	23.25	23.94	24.62	25.29	25.93	
E4	689.1	306	0.9951	0.00	1.65	2.92	11.39	11.41	11.44	11.48	11.53	11.91	12.45	13.12	13.86	14.65	15.46	16.28	17.09	17.90	18.69	19.47	20.24	21.00	21.73	22.46	23.17	23.86	24.54	25.21	25.87	26.51	
E5	689.1	245	0.9341	0.00	1.55	2.74	10.70	10.71	10.74	10.78	10.83	11.18	11.69	12.32	13.01	13.75	14.51	15.28	16.04	16.80	17.55	18.28	19.00	19.71	20.40	21.08	21.75	22.40	23.04	23.67	24.28	24.88	
F2	689.1	264.7	0.9538	0.00	1.58	2.80	10.92	10.94	10.97	11.01	11.05	11.41	11.94	12.58	13.29	14.04	14.82	15.60	16.38	17.15	17.92	18.67	19.40	20.12	20.83	21.53	22.21	22.87	23.52	24.17	24.79	25.41	
F3	689.1	211.7	0.9008	0.00	1.50	2.65	10.32	10.33	10.36	10.40	10.44	10.78	11.27	11.88	12.55	13.26	13.99	14.73	15.47	16.20	16.92	17.63	18.32	19.01	19.67	20.33	20.97	21.60	22.22	22.82	23.42	24.00	
F4	689.1	164.5	0.8536	0.00	1.42	2.51	9.77	9.79	9.82	9.85	9.89	10.21	10.68	11.25	11.89	12.57	13.26	13.96	14.66	15.35	16.03	16.71	17.36	18.01	18.64	19.26	19.87	20.47	21.05	21.63	22.19	22.74	
F5	689.1	132.5	0.8216	0.00	1.37	2.41	9.41	9.42	9.45	9.48	9.52	9.83	10.28	10.83	11.41	12.06	12.76	13.44	14.11	14.78	15.43	16.08	16.71	17.34	17.94	18.54	19.13	19.70	20.26	20.82	21.36	21.89	
G1	689.1	578.1	1.2672	0.00	2.11	3.72	14.51	14.54	14.57	14.62	14.69	15.16	15.86	16.71	17.65	18.66	19.69	20.73	21.76	22.79	23.80	24.80	25.78	26.74	27.68	28.60	29.50	30.39	31.25	32.11	32.94	33.76	
G2	689.1	526.1	1.2152	0.00	2.02	3.57	13.92	13.94	13.98	14.02	14.08	14.54	15.21	16.02	16.93	17.89	18.88	19.88	20.87	21.86	22.83	23.78	24.72	25.64	26.54	27.43	28.29	29.14	29.97	30.79	31.59	32.37	
G3	689.1	692.6	1.3817	0.00	2.30	4.06	15.82	15.85	15.89	15.95	16.01	16.53	17.29	18.22	19.25	20.34	21.47	22.60	23.73	24.85	25.95	27.04	28.11	29.15	30.18	31.18	32.17	33.13	34.08	35.01	35.92	36.81	
G5	689.1	116.1	0.8052	0.00	1.34	2.37	9.22	9.24	9.26	9.29	9.33	9.63	10.08	10.62	11.22	11.86	12.51	13.17	13.83	14.48	15.13	15.76	16.38	16.99	17.59	18.17	18.75	19.31	19.86	20.40	20.93	21.45	
H1	689.1	74.1	0.7632	0.00	1.27	2.24	8.74	8.75	8.78	8.81	8.85	9.13	9.55	10.06	10.63	11.24	11.86	12.48	13.11	13.73	14.34	14.94	15.53	16.10	16.67	17.22	17.77	18.30	18.82	19.34	19.84	20.33	
H2	689.1	21.6	0.7107	0.00	1.18	2.09	8.14	8.15	8.17	8.20	8.24	8.50	8.89	9.37	9.90	10.46	11.04	11.62	12.21	12.78	13.35	13.91	14.46	15.00	15.52	16.04	16.55	17.04	17.53	18.01	18.47	18.93	
H3	689.1	85.5	0.7746	0.00	1.29	2.28	8.87	8.89	8.91	8.94	8.98	9.27	9.69	10.21	10.79	11.40	12.03	12.67	13.30	13.93	14.55	15.16	15.76	16.34	16.92	17.48	18.03	18.57	19.10	19.62	20.14	20.64	
H4	689.1	35.5	0.7246	0.00	1.20	2.13	8.30	8.31	8.33	8.36	8.40	8.67	9.07	9.55	10.09	10.67	11.26	11.85	12.44	13.03	13.61	14.18	14.74	15.29</									

Número de Armario	Caja Dispersion	Distancia Red Primaria (m)	Distancia Red Secundaria (m)	Distancia Total (Km)	Atenuacion (dB/Km)																													
					Frecuencia (Khz)																													
					0.00	1.66	2.94	11.45	11.47	11.50	11.54	11.59	11.97	12.51	13.18	13.93	14.72	15.54	16.36	17.17	17.99	18.78	19.57	20.34	21.10	21.84	22.57	23.28	23.98	24.66	25.34	25.99	26.64	
					0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	
	F2	838.1	169	1.0071	0.00	1.67	2.96	11.53	11.55	11.58	11.62	11.67	12.05	12.60	13.28	14.03	14.83	15.65	16.47	17.30	18.11	18.92	19.71	20.49	21.25	22.00	22.73	23.45	24.15	24.84	25.52	26.18	26.83	
	F3	838.1	145.2	0.9833	0.00	1.63	2.89	11.26	11.28	11.31	11.35	11.40	11.77	12.31	12.96	13.70	14.48	15.28	16.08	16.89	17.68	18.47	19.24	20.00	20.75	21.48	22.19	22.89	23.58	24.25	24.91	25.56	26.20	
	F4	838.1	99.4	0.9375	0.00	1.56	2.75	10.74	10.75	10.78	10.82	10.87	11.22	11.73	12.36	13.06	13.80	14.57	15.33	16.10	16.86	17.61	18.35	19.07	19.78	20.48	21.16	21.83	22.48	23.12	23.75	24.37	24.98	
	F5	838.1	149.4	0.9875	0.00	1.64	2.90	11.31	11.33	11.36	11.40	11.45	11.82	12.36	13.02	13.76	14.54	15.34	16.15	16.96	17.76	18.55	19.33	20.09	20.84	21.57	22.29	22.99	23.68	24.36	25.02	25.67	26.31	
11	G1	838.1	331.9	1.17	0.00	1.94	3.44	13.40	13.42	13.46	13.50	13.56	14.00	14.64	15.43	16.30	17.23	18.18	19.14	20.09	21.04	21.98	22.90	23.80	24.69	25.55	26.41	27.24	28.06	28.86	29.64	30.41	31.17	
	G2	838.1	273.4	1.1115	0.00	1.85	3.26	12.73	12.75	12.78	12.83	12.88	13.30	13.91	14.65	15.49	16.36	17.27	18.18	19.09	19.99	20.88	21.75	22.61	23.45	24.28	25.09	25.88	26.65	27.41	28.16	28.89	29.61	
	G3	838.1	222.8	1.0609	0.00	1.76	3.12	12.15	12.17	12.20	12.24	12.30	12.69	13.28	13.99	14.78	15.62	16.48	17.35	18.22	19.08	19.93	20.76	21.58	22.38	23.17	23.94	24.70	25.44	26.17	26.88	27.58	28.26	
	G4	838.1	157.6	0.9957	0.00	1.65	2.92	11.40	11.42	11.45	11.49	11.54	11.91	12.46	13.13	13.87	14.66	15.47	16.29	17.10	17.91	18.70	19.49	20.25	21.01	21.75	22.47	23.18	23.88	24.56	25.23	25.88	26.53	
	G5	838.1	101.7	0.9398	0.00	1.56	2.76	10.76	10.78	10.81	10.85	10.89	11.24	11.76	12.39	13.09	13.84	14.60	15.37	16.14	16.90	17.65	18.39	19.12	19.83	20.53	21.21	21.88	22.54	23.18	23.81	24.43	25.04	
	H2	838.1	179.7	1.0178	0.00	1.69	2.99	11.65	11.68	11.71	11.75	11.80	12.18	12.74	13.42	14.18	14.99	15.81	16.65	17.48	18.31	19.12	19.92	20.70	21.47	22.23	22.97	23.70	24.41	25.10	25.79	26.46	27.11	
	H3	838.1	187.9	1.026	0.00	1.70	3.01	11.75	11.77	11.80	11.84	11.89	12.28	12.84	13.53	14.29	15.11	15.94	16.78	17.62	18.45	19.27	20.08	20.87	21.65	22.41	23.16	23.89	24.60	25.31	25.99	26.67	27.33	
	H4	838.1	131.8	0.9699	0.00	1.61	2.85	11.11	11.13	11.15	11.19	11.24	11.60	12.14	12.79	13.51	14.28	15.07	15.86	16.66	17.44	18.22	18.98	19.73	20.46	21.18	21.89	22.58	23.26	23.92	24.57	25.21	25.84	
	H5	838.1	151.8	0.9899	0.00	1.64	2.91	11.34	11.36	11.38	11.42	11.47	11.84	12.39	13.05	13.79	14.57	15.38	16.19	17.00	17.80	18.59	19.37	20.14	20.89	21.62	22.34	23.05	23.74	24.42	25.08	25.73	26.37	
	I1	838.1	41.1	0.8792	0.00	1.46	2.58	10.07	10.09	10.11	10.15	10.19	10.52	11.00	11.59	12.25	12.94	13.66	14.38	15.10	15.81	16.52	17.21	17.89	18.55	19.20	19.84	20.47	21.08	21.68	22.28	22.85	23.42	
	I2	838.1	42	0.8801	0.00	1.46	2.59	10.08	10.10	10.12	10.16	10.20	10.53	11.01	11.60	12.26	12.96	13.67	14.40	15.12	15.83	16.53	17.22	17.90	18.57	19.22	19.86	20.49	21.10	21.71	22.30	22.88	23.45	
	I3	838.1	21	0.8591	0.00	1.43	2.52	9.84	9.85	9.88	9.91	9.96	10.28	10.75	11.33	11.97	12.65	13.35	14.05	14.75	15.45	16.14	16.81	17.48	18.13	18.76	19.39	20.00	20.60	21.19	21.77	22.33	22.89	
	I4	838.1	83.5	0.9216	0.00	1.53	2.71	10.55	10.57	10.60	10.64	10.68	11.03	11.53	12.15	12.84	13.57	14.32	15.07	15.83	16.58	17.31	18.04	18.75	19.45	20.13	20.80	21.46	22.10	22.73	23.35	23.96	24.55	
	12	A1	1137.6	605	1.7428	0.00	2.90	5.12	19.95	19.99	20.04	20.11	20.20	20.85	21.81	22.98	24.28	25.66	27.07	28.50	29.93	31.34	32.73	34.10	35.45	36.77	38.06	39.33	40.57	41.79	42.98	44.15	45.30	46.42
		A2	1137.6	604	1.7418	0.00	2.89	5.12	19.94	19.98	20.03	20.10	20.19	20.84	21.79	22.96	24.26	25.64	27.06	28.49	29.91	31.32	32.71	34.08	35.43	36.75	38.04	39.31	40.55	41.76	42.96	44.12	45.27	46.40
		A3	1137.6	562	1.6996	0.00	2.82	4.99	19.46	19.50	19.55	19.62	19.70	20.34	21.27	22.41	23.68	25.02	26.41	27.80	29.19	30.57	31.93	33.26	34.57	35.86	37.12	38.36	39.57	40.76	41.92	43.06	44.18	45.28
A4		1137.6	647	1.7846	0.00	2.97	5.24	20.44	20.47	20.52	20.60	20.68	21.35	22.33	23.53	24.86	26.27	27.73	29.19	30.65	32.10	33.52	34.93	36.30	37.65	38.98	40.28	41.55	42.79	44.02	45.21	46.39	47.54	
A5		1137.6	612	1.7496	0.00	2.91	5.14	20.03	20.07	20.12	20.19	20.28	20.93	21.89	23.07	24.38	25.76	27.18	28.62	30.05	31.47	32.87	34.24	35.59	36.92	38.21	39.49	40.73	41.95	43.15	44.33	45.48	46.61	
B1		1137.6	558	1.6956	0.00	2.82	4.98	19.42	19.45	19.50	19.57	19.65	20.29	21.22	22.36	23.62	24.96	26.34	27.73	29.12	30.50	31.85	33.18	34.49	35.78	37.03	38.27	39.48	40.66	41.82	42.96	44.08	45.17	
B2		1137.6	513	1.6506	0.00	2.74	4.85	18.90	18.93	18.98	19.05	19.13	19.75	20.66	21.76	23.00	24.30	25.64	27.00	28.35	29.69	31.01	32.30	33.58	34.83	36.05	37.25	38.43	39.58	40.71	41.82	42.91	43.97	
B4		1137.6	479	1.6166	0.00	2.69	4.75	18.51	18.54	18.59	18.66	18.74	19.34	20.23	21.31	22.52	23.80	25.12	26.44	27.76	29.07	30.37	31.64	32.89	34.11	35.31	36.48	37.64	38.77	39.87	40.96	42.02	43.07	
B5		1137.6	434	1.5716	0.00	2.61	4.62	18.00	18.03	18.08	18.14	18.22	18.80	19.67	20.72	21.90	23.14	24.42	25.71	26.99	28.27	29.52	30.76	31.97	33.16	34.33	35.47	36.59	37.69	38.76	39.82	40.85	41.87	
C1		1137.6	414	1.5516	0.00	2.58	4.56	17.77	17.80	17.85	17.91	17.98	18.57	19.42	20.46	21.62	22.84	24.11	25.38	26.65	27.91	29.15	30.37	31.56	32.74	33.89	35.02	36.12	37.21	38.27	39.31	40.33	41.34	
C2		1137.6	372	1.5096	0.00	2.51	4.43	17.29	17.32	17.36	17.42	17.50	18.06	18.89	19.90	21.03	22.23	23.45	24.69	25.93	27.15	28.36	29.54	30.71	31.85	32.97	34.07	35.15	36.20	37.23	38.25	39.24	40.22	
C4		1137.6	373	1.5106	0.00	2.51	4.44	17.30	17.33	17.37	17.43	17.51	18.07	18.90	19.92	21.05	22.24	23.47	24.71	25.94	27.17	28.38	29.56	30.73	31.87	32.99	34.09	35.17	36.22	37.26	38.27	39.27	40.24	
C5		1137.6	316	1.4536	0.00	2.42	4.27	16.65	16.67	16.72	16.78	16.85	17.39	18.19	19.16	20.25	21.40	22.58	23.78	24.96	26.14	27.31	28.45	29.57	30.67	31.75	32.81	33.84	34.86	35.85	36.83	37.79	38.72	
D1		1137.6	107	1.2446	0.00	2.07	3.66	14.25	14.28	14.31	14.36	14.43	14.89	15.57	16.41	17.34	18.32	19.34	20.36	21.38	22.38	23.38	24.36	25.32	26.26	27.18	28.09	28.98	29.85	30.70	31.53	32.35	33.16	
D2		1137.6	45	1.1826	0.00	1.96	3.47	13.54	13.57	13.60	13.65	13.71	14.15	14.80	15.59	16.48	17.41	18.37	19.34	20.31	21.27	22.21	23.14	24.06	24.95	25.83	26.69	27.53	28.36	29.17	29.96	30.74	31.50	
D3		1137.6	10	1.1476	0.00	1.91	3.37	13.14	13.16	13.20	13.24	13.30	13.73	14.36	15.13	15.99	16.90	17.83	18.77	19.71	20.64	21.56	22.46	23.34	24.21	25.07	25.90	26.72	27.52	28.30	29.08	29.83	30.57	
D4		1137.6	10	1.1476	0.00	1.91	3.37	13.14	13.16	13.20	13.24	13.30	13.73	14.36	15.13	15.99	16.90	17.83	18.77	19.71	20.64	21.56	22.46	23.34	24.21	25.07	25.90	26.72	27.52	28.30	29.08	29.83	30.57	
E1		1137.6	267	1.4046	0.00	2.33	4.13	16.08	16.11	16.15	16.21	16.28	16.81	17.58	18.52	19.57	20.68	21.82	22.97	24.12	25.26	26.38	27.49	28.57	29.6									

Número de Armario	Caja Dispersión	No. Empalmes Red Primaria	No. Empalmes Red Secundaria	Empalmes en Central, Armarios, Cajas Dispersión	No. Total Empalmes	Atenuación (dB/empalme)																												
						0.00	0.04	0.07	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.05	1.09	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.30	1.33
						Frecuencia (Khz)																												
						0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
6	E3	4	7	3	14	0.00	0.57	1.02	8.02	8.03	8.05	8.08	8.11	8.38	8.76	9.23	9.75	10.31	10.88	11.45	12.02	12.59	13.15	13.70	14.24	14.77	15.29	15.80	16.30	16.79	17.26	17.73	18.20	18.65
	E4	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32
	E5	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98
	F1	4	7	3	14	0.00	0.57	1.02	8.02	8.03	8.05	8.08	8.11	8.38	8.76	9.23	9.75	10.31	10.88	11.45	12.02	12.59	13.15	13.70	14.24	14.77	15.29	15.80	16.30	16.79	17.26	17.73	18.20	18.65
	F2	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32
	F3	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32
	F4	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98
	F5	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	G1	4	7	3	14	0.00	0.57	1.02	8.02	8.03	8.05	8.08	8.11	8.38	8.76	9.23	9.75	10.31	10.88	11.45	12.02	12.59	13.15	13.70	14.24	14.77	15.29	15.80	16.30	16.79	17.26	17.73	18.20	18.65
	G2	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32
	G3	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98
	G4	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	G5	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	H1	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	H2	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	H3	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	H4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	H5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66
	I1	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	I2	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
I3	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
I4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
I5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
J1	4	5	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
J2	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
J3	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
J4	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
J5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
7	A1	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98
	A2	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	A3	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	A4	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	A5	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	B1	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	B2	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	B3	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66
	B4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	B5	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67		

Número de Armario	Caja Dispersion	No. Empalmes Red Primaria	No. Empalmes Red Secundaria	Empalmes en Central, Armarios, Cajas Dispersion	No. Total Empalmes	Atenuación (dB/empalme)																													
						0.00	0.04	0.07	0.07	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.05	1.09	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.30	1.33
						Frecuencia (Khz)																													
7	H4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	H5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
	A2	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
	A3	4	7	3	14	0.00	0.57	1.02	8.02	8.03	8.05	8.08	8.11	8.38	8.76	9.23	9.75	10.31	10.88	11.45	12.02	12.59	13.15	13.70	14.24	14.77	15.29	15.80	16.30	16.79	17.26	17.73	18.20	18.65	
	A4	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32	
	A5	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98	
	B1	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
	B2	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	B3	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
	B4	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
	B5	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	C1	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98	
	C2	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
	C3	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98	
	C4	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
	C5	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	D1	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98	
	D2	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
	D3	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
	D4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	D5	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
	E2	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98	
	E3	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
E4	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65		
E5	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32		
F1	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99		
F3	4	3	3	10	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65		
F4	4	4	3	11	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32		
F5	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99		
G2	4	8	3	15	0.00	0.62	1.09	8.59	8.60	8.63	8.66	8.69	8.97	9.39	9.89	10.45	11.04	11.65	12.27	12.88	13.49	14.09	14.68	15.26	15.82	16.38	16.93	17.46	17.98	18.50	19.00	19.50	19.98		
G3	4	7	3	14	0.00	0.57	1.02	8.02	8.03	8.05	8.08	8.11	8.38	8.76	9.23	9.75	10.31	10.88	11.45	12.02	12.59	13.15	13.70	14.24	14.77	15.29	15.80	16.30	16.79	17.26	17.73	18.20	18.65		
G4	4	6	3	13	0.00	0.53	0.94	7.44	7.46	7.48	7.50	7.53	7.78	8.13	8.57	9.06	9.57	10.10	10.63	11.16	11.69	12.21	12.72	13.22	13.71	14.20	14.67	15.13	15.59	16.03	16.47	16.90	17.32		
H1	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98		
H2	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65		
H3	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32		
H4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99		
H5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66		
I5	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10										

Número de Armario	Caja Dispersion	No. Empalmes Red Primaria	No. Empalmes Red Secundaria	Empalmes en Central, Armarios, Cajas Dispersion	No. Total Empalmes	Atenuación (dB/empalme)																												
						0.00	0.04	0.07	0.57	0.57	0.58	0.58	0.60	0.63	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.05	1.09	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.30	1.33	
						Frecuencia (Khz)																												
9	E3	4	5	3	12	0.00	0.49	0.87	6.87	6.88	6.90	6.92	6.95	7.18	7.51	7.91	8.36	8.83	9.32	9.81	10.30	10.79	11.27	11.74	12.21	12.66	13.10	13.54	13.97	14.39	14.80	15.20	15.60	15.98
	E4	4	4	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	E5	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	F1	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	F2	4	3	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	F3	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	F4	4	2	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	F5	4	1	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66
	A1	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65
	A2	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	A3	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	A4	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	B4	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
	B5	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99
	C1	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32
C2	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
C3	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
C5	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
D1	3	1	3	7	0.00	0.29	0.51	4.01	4.01	4.03	4.04	4.06	4.19	4.38	4.61	4.88	5.15	5.44	5.72	6.01	6.29	6.57	6.85	7.12	7.38	7.64	7.90	8.15	8.39	8.63	8.87	9.10	9.32	
D2	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
D3	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
D4	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
D5	3	1	3	7	0.00	0.29	0.51	4.01	4.01	4.03	4.04	4.06	4.19	4.38	4.61	4.88	5.15	5.44	5.72	6.01	6.29	6.57	6.85	7.12	7.38	7.64	7.90	8.15	8.39	8.63	8.87	9.10	9.32	
E1	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
E2	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
E3	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
E4	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
E5	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
F2	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
F3	3	4	3	10	0.00	0.41	0.73	5.73	5.74	5.75	5.77	5.80	5.98	6.26	6.59	6.97	7.36	7.77	8.18	8.59	8.99	9.39	9.79	10.17	10.55	10.92	11.28	11.64	11.99	12.33	12.67	13.00	13.32	
F4	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
F5	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
G1	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
G2	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
G3	3	5	3	11	0.00	0.45	0.80	6.30	6.31	6.33	6.35	6.37	6.58	6.88	7.25	7.66	8.10	8.54	9.00	9.45	9.89	10.33	10.76	11.19	11.60	12.01	12.41	12.80	13.19	13.57	13.93	14.30	14.65	
G5	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48	10.79	11.10	11.40	11.70	11.99	
H1	3	2	3	8	0.00	0.33	0.58	4.58	4.59	4.60	4.62	4.64	4.79	5.01	5.27	5.57	5.89	6.21	6.54	6.87	7.19	7.51	7.83	8.14	8.44	8.74	9.03	9.31	9.59	9.87	10.13	10.40	10.66	
H2	3	1	3	7	0.00	0.29	0.51	4.01	4.01	4.03	4.04	4.06	4.19	4.38	4.61	4.88	5.15	5.44	5.72	6.01	6.29	6.57	6.85	7.12	7.38	7.64	7.90	8.15	8.39	8.63	8.87	9.10	9.32	
H3	3	3	3	9	0.00	0.37	0.65	5.15	5.16	5.18	5.19	5.22	5.38	5.63	5.93	6.27	6.63	6.99	7.36	7.73	8.09	8.45	8.81	9.15	9.49	9.83	10.16	10.48						

TABLA B.3. Tabla de Atenuación Total

Número de Armario	Caja Dispersion	Frecuencia (Khz)																												
		0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
		1	0.00	6.80	12.02	48.87	48.96	49.09	49.26	49.47	51.07	53.41	56.27	59.46	62.84	66.31	69.81	73.30	76.76	80.17	83.53	86.82	90.05	93.22	96.32	99.36	102.35	105.27	108.13	110.94
	A1	0.00	3.88	6.85	30.48	30.53	30.61	30.72	30.85	31.85	33.31	35.09	37.08	39.19	41.35	43.53	45.71	47.87	49.99	52.09	54.14	56.16	58.13	60.07	61.96	63.82	65.64	67.43	69.18	70.90
	A2	0.00	3.67	6.49	28.76	28.81	28.89	28.99	29.11	30.05	31.43	33.11	34.99	36.98	39.02	41.08	43.14	45.17	47.18	49.15	51.09	52.99	54.86	56.68	58.47	60.23	61.95	63.63	65.29	66.91
	A3	0.00	3.73	6.59	29.48	29.53	29.61	29.71	29.84	30.80	32.21	33.94	35.86	37.90	39.99	42.10	44.21	46.30	48.35	50.38	52.37	54.31	56.22	58.10	59.93	61.73	63.49	65.22	66.91	68.58
	A4	0.00	3.57	6.31	28.07	28.12	28.19	28.29	28.41	29.33	30.67	32.32	34.15	36.09	38.08	40.09	42.10	44.09	46.04	47.97	49.86	51.72	53.54	55.32	57.07	58.78	60.46	62.10	63.72	65.30
	A5	0.00	3.60	6.37	28.32	28.37	28.44	28.54	28.67	29.59	30.95	32.61	34.46	36.41	38.42	40.45	42.48	44.48	46.46	48.40	50.31	52.18	54.02	55.82	57.58	59.31	61.00	62.66	64.29	65.89
	B1	0.00	3.43	6.07	26.85	26.90	26.97	27.07	27.18	28.06	29.35	30.92	32.67	34.53	36.44	38.36	40.28	42.18	44.05	45.90	47.71	49.48	51.22	52.93	54.60	56.24	57.84	59.42	60.96	62.48
	B2	0.00	3.42	6.04	26.73	26.77	26.84	26.94	27.05	27.93	29.21	30.77	32.52	34.37	36.26	38.18	40.09	41.98	43.84	45.68	47.48	49.25	50.98	52.68	54.34	55.97	57.57	59.14	60.67	62.18
	B3	0.00	3.28	5.80	25.53	25.57	25.64	25.73	25.84	26.67	27.90	29.39	31.06	32.82	34.63	36.46	38.29	40.09	41.87	43.63	45.35	47.03	48.69	50.31	51.90	53.46	54.98	56.48	57.95	59.39
	B4	0.00	3.42	6.04	26.75	26.79	26.86	26.96	27.07	27.95	29.23	30.79	32.54	34.39	36.29	38.20	40.11	42.01	43.87	45.71	47.51	49.28	51.02	52.71	54.38	56.01	57.61	59.18	60.71	62.22
	B5	0.00	3.28	5.81	25.54	25.58	25.65	25.74	25.85	26.68	27.91	29.40	31.07	32.83	34.65	36.47	38.30	40.11	41.89	43.64	45.36	47.05	48.71	50.33	51.92	53.47	55.00	56.50	57.97	59.41
	C1	0.00	3.37	5.96	26.70	26.74	26.81	26.91	27.02	27.90	29.18	30.74	32.48	34.33	36.22	38.13	40.04	41.93	43.79	45.63	47.43	49.19	50.92	52.62	54.28	55.91	57.50	59.07	60.60	62.11
	C2	0.00	3.27	5.78	25.71	25.76	25.83	25.92	26.03	26.87	28.10	29.61	31.28	33.06	34.89	36.73	38.57	40.38	42.18	43.95	45.68	47.38	49.04	50.68	52.28	53.85	55.38	56.89	58.37	59.82
	C3	0.00	3.14	5.54	24.51	24.55	24.62	24.70	24.81	25.61	26.78	28.22	29.82	31.51	33.25	35.01	36.76	38.49	40.20	41.89	43.54	45.16	46.75	48.30	49.83	51.32	52.79	54.23	55.64	57.02
	C4	0.00	3.21	5.67	25.59	25.63	25.70	25.79	25.90	26.73	27.96	29.46	31.13	32.90	34.71	36.55	38.37	40.19	41.97	43.73	45.45	47.14	48.80	50.43	52.02	53.58	55.11	56.61	58.08	59.53
	C5	0.00	3.13	5.53	24.73	24.77	24.84	24.92	25.03	25.84	27.02	28.47	30.08	31.79	33.55	35.32	37.09	38.84	40.56	42.26	43.93	45.56	47.16	48.73	50.27	51.78	53.26	54.71	56.13	57.53
	D1	0.00	3.04	5.37	23.84	23.88	23.95	24.03	24.13	24.91	26.06	27.45	29.01	30.66	32.35	34.06	35.76	37.45	39.11	40.75	42.36	43.93	45.48	46.99	48.48	49.93	51.36	52.75	54.12	55.47
	D2	0.00	3.11	5.50	24.35	24.40	24.46	24.55	24.65	25.45	26.61	28.04	29.63	31.31	33.04	34.79	36.53	38.25	39.95	41.62	43.26	44.87	46.45	48.00	49.51	51.00	52.46	53.88	55.28	56.66
	D3	0.00	3.08	5.45	24.15	24.19	24.26	24.34	24.44	25.23	26.39	27.81	29.38	31.05	32.77	34.50	36.22	37.93	39.62	41.27	42.90	44.50	46.06	47.60	49.10	50.57	52.02	53.43	54.82	56.18
	D4	0.00	2.93	5.18	22.80	22.84	22.90	22.98	23.08	23.82	24.92	26.25	27.74	29.31	30.93	32.57	34.19	35.81	37.40	38.97	40.50	42.01	43.49	44.93	46.35	47.74	49.11	50.44	51.75	53.04
	D5	0.00	2.89	5.11	22.53	22.57	22.63	22.71	22.81	23.54	24.62	25.94	27.41	28.97	30.57	32.18	33.79	35.39	36.96	38.51	40.03	41.52	42.98	44.41	45.81	47.18	48.53	49.85	51.15	52.42
	E3	0.00	2.66	4.71	20.96	21.00	21.05	21.12	21.22	21.90	22.91	24.13	25.50	26.95	28.44	29.94	31.44	32.92	34.38	35.82	37.23	38.62	39.98	41.31	42.61	43.89	45.15	46.37	47.58	48.76
	E4	0.00	2.88	5.08	22.43	22.46	22.52	22.60	22.70	23.43	24.51	25.82	27.28	28.83	30.43	32.03	33.63	35.22	36.79	38.33	39.84	41.32	42.77	44.20	45.59	46.96	48.30	49.62	50.91	52.17
	E5	0.00	2.65	4.69	20.59	20.63	20.68	20.76	20.85	21.52	22.51	23.71	25.06	26.48	27.94	29.42	30.89	32.35	33.78	35.20	36.59	37.95	39.28	40.59	41.87	43.13	44.36	45.57	46.75	47.91
	F2	0.00	2.64	4.67	20.81	20.85	20.90	20.97	21.06	21.75	22.74	23.96	25.32	26.76	28.24	29.73	31.21	32.69	34.14	35.57	36.97	38.35	39.69	41.02	42.31	43.58	44.82	46.04	47.24	48.42
	F3	0.00	2.60	4.60	20.53	20.56	20.62	20.69	20.78	21.45	22.43	23.63	24.97	26.39	27.85	29.32	30.79	32.24	33.67	35.08	36.47	37.82	39.15	40.46	41.73	42.99	44.21	45.42	46.60	47.76
	F4	0.00	2.59	4.58	20.45	20.48	20.54	20.61	20.69	21.36	22.34	23.54	24.88	26.29	27.74	29.20	30.67	32.11	33.54	34.94	36.32	37.67	39.00	40.30	41.57	42.82	44.04	45.24	46.41	47.57
	F5	0.00	2.51	4.44	19.63	19.67	19.72	19.79	19.87	20.52	21.46	22.61	23.89	25.24	26.64	28.04	29.45	30.84	32.21	33.56	34.88	36.18	37.45	38.70	39.92	41.12	42.29	43.44	44.57	45.68
	G1	0.00	2.71	4.78	21.54	21.58	21.64	21.71	21.81	22.51	23.54	24.80	26.21	27.70	29.23	30.72	32.19	33.64	35.04	36.42	37.77	39.09	41.09	42.46	43.80	45.11	46.40	47.66	48.90	50.12
	G2	0.00	2.62	4.64	20.70	20.73	20.79	20.86	20.95	21.62	22.62	23.83	25.18	26.61	28.08	29.56	31.04	32.50	33.95	35.37	36.76	38.13	39.47	40.79	42.08	43.34	44.58	45.79	46.98	48.15
	G3	0.00	2.86	5.06	22.90	22.94	23.00	23.08	23.18	23.93	25.03	26.37	27.87	29.45	31.08	32.72	34.35	35.97	37.57	39.15	40.69	42.20	43.69	45.14	46.57	47.96	49.33	50.68	51.99	53.29
	G4	0.00	2.75	4.87	21.88	21.92	21.98	22.05	22.15	22.87	23.91	25.20	26.62	28.14	29.69	31.26	32.82	34.37	35.90	37.40	38.87	40.32	41.74	43.13	44.49	45.83	47.13	48.42	49.67	50.91
	G5	0.00	2.62	4.63	20.95	20.99	21.04	21.12	21.21	21.89	22.90	24.12	25.49	26.94	28.42	29.93	31.42	32.91	34.37	35.81	37.22	38.60	39.96	41.29	42.60	43.87	45.13	46.35	47.56	48.74
3	0.00	3.53	6.25	26.39	26.44	26.51	26.60	26.71	27.57	28.84	30.38	32.11	33.93	35.80	37.69	39.58	41.45	43.29	45.10	46.88	48.63	50.34	52.01	53.65	55.26	56.84	58.39	59.91	61.40	
4	0.00	3.47	6.14	25.97	26.02	26.09	26.18	26.29	27.14	28.38	29.91	31.60	33.40	35.24	37.10	38.96	40.79	42.61	44.39	46.14	47.86	49.54	51.19	52.81	54.39	55.94	57.47	58.96	60.43	
5	0.00	3.07	5.43	22.61	22.65	22.71	22.79	22.89	23.63	24.71	26.04	27.51	29.07	30.68	32.30	33.91	35.52	37.09	38.65	40.17	41.67	43.13	44.57	45.97	47.35	48.70	50.03	51.33	52.61	
	A1	0.00	2.99	5.28	23.77	23.81	23.88	23.96	24.06	24.84	25.98	27.37	28.92	30.57	32.25	33.96	35.65	37.34	39.00	40.63	42.23	43.80	45.34	46.85	48.33	49.78	51.20	52.60	53.96	55.31
	A2	0.00	2.99	5.28	23.77	23.81	23.88	23.96	24.06	24.84	25.98	27.37	28.92	30.57	32.25	33.96	35.65	37.34	39.00	40.63	42.23	43.80	45.34	46.85	48.33	49.78	51.20	52.60	53.96	55.31
	A3	0.00	4.86	8.58	37.52	37.58	37.68	37.81	37.97	39.20	41.00	43.20	45.65	48.24	50.90	53.69	56.27	58.93	61.55	64.12	66.65	69.13	71.56	73.94	76.28	78.57	80.81	83.01	85.17	87.28
	A4	0.00	4.71	8.32</																										

Número de Armario	Caja Dispersion	Frecuencia (Khz)																													
		0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	
6	E5	0.00	4.16	7.35	32.14	32.19	32.28	32.39	32.53	33.58	35.12	37.00	39.10	41.32	43.60	45.91	48.20	50.48	52.72	54.93	57.09	59.22	61.30	63.34	65.34	67.30	69.22	71.11	72.96	74.77	
	F1	0.00	4.56	8.07	35.50	35.57	35.66	35.78	35.94	37.10	38.80	40.88	43.20	45.65	48.17	50.71	53.25	55.76	58.24	60.68	63.07	65.42	67.72	69.98	72.19	74.35	76.47	78.56	80.60	82.60	
	F2	0.00	4.35	7.69	33.74	33.80	33.89	34.01	34.15	35.26	36.87	38.85	41.05	43.38	45.78	48.20	50.61	52.99	55.35	57.67	59.94	62.17	64.36	66.50	68.60	70.65	72.68	74.65	76.59	78.50	80.37
	F3	0.00	4.27	7.55	33.19	33.24	33.33	33.45	33.59	34.68	36.27	38.21	40.38	42.67	45.03	47.40	49.78	52.12	54.44	56.72	58.96	61.15	63.30	65.41	67.47	69.50	71.48	73.43	75.34	77.21	79.04
	F4	0.00	4.03	7.12	31.24	31.29	31.38	31.49	31.62	32.64	34.14	35.97	38.01	40.17	42.39	44.62	46.86	49.07	51.25	53.39	55.50	57.56	59.59	61.57	63.52	65.42	67.29	69.12	70.92	72.68	74.41
	F5	0.00	3.70	6.54	28.68	28.73	28.80	28.90	29.02	29.96	31.34	33.02	34.89	36.87	38.91	40.96	43.01	45.04	47.04	49.01	50.94	52.84	54.70	56.52	58.30	60.05	61.76	63.45	65.09	66.71	68.30
	G1	0.00	4.37	7.72	34.14	34.20	34.29	34.41	34.56	35.68	37.31	39.31	41.54	43.90	46.32	48.77	51.21	53.62	56.01	58.35	60.65	62.91	65.12	67.29	69.42	71.50	73.54	75.54	77.50	79.43	81.33
	G2	0.00	4.24	7.50	33.00	33.05	33.14	33.26	33.40	34.48	36.06	37.99	40.15	42.43	44.77	47.13	49.49	51.83	54.13	56.39	58.62	60.80	62.94	65.03	67.09	69.10	71.07	73.01	74.90	76.77	78.62
	G3	0.00	4.11	7.27	31.81	31.86	31.95	32.06	32.19	33.23	34.76	36.62	38.70	40.90	43.15	45.43	47.70	49.96	52.18	54.36	56.50	58.61	60.67	62.69	64.67	66.61	68.51	70.37	72.20	74.00	75.79
	G4	0.00	3.83	6.78	29.61	29.66	29.74	29.84	29.97	30.94	32.36	34.09	36.02	38.07	40.17	42.29	44.41	46.50	48.57	50.60	52.60	54.55	56.47	58.35	60.20	62.00	63.77	65.51	67.21	68.88	70.53
	G5	0.00	3.56	6.29	27.42	27.46	27.54	27.63	27.75	28.65	29.96	31.57	33.36	35.25	37.20	39.16	41.12	43.06	44.97	46.86	48.70	50.52	52.29	54.03	55.74	57.41	59.05	60.66	62.24	63.78	65.34
	H1	0.00	2.95	5.21	23.20	23.24	23.30	23.38	23.48	24.24	25.35	26.71	28.23	29.83	31.48	33.14	34.80	36.44	38.06	39.65	41.21	42.75	44.25	45.72	47.17	48.58	49.97	51.33	52.66	53.97	55.27
	H2	0.00	2.95	5.21	23.20	23.24	23.30	23.38	23.48	24.24	25.35	26.71	28.23	29.83	31.48	33.14	34.80	36.44	38.06	39.65	41.21	42.75	44.25	45.72	47.17	48.58	49.97	51.33	52.66	53.97	55.27
	H3	0.00	3.81	6.73	29.13	29.18	29.26	29.36	29.49	30.44	31.84	33.54	35.45	37.46	39.53	41.61	43.70	45.76	47.79	49.79	51.76	53.68	55.57	57.42	59.23	61.01	62.75	64.46	66.13	67.78	69.42
	H4	0.00	3.45	6.10	26.39	26.43	26.50	26.59	26.71	27.57	28.83	30.38	32.10	33.93	35.80	37.69	39.57	41.44	43.28	45.09	46.87	48.62	50.33	52.00	53.64	55.25	56.83	58.38	59.90	61.38	62.84
	H5	0.00	3.23	5.71	24.58	24.62	24.68	24.77	24.88	25.68	26.86	28.30	29.90	31.60	33.34	35.10	36.86	38.60	40.32	42.00	43.66	45.28	46.88	48.44	49.97	51.47	52.93	54.38	55.79	57.16	58.51
	I1	0.00	3.59	6.35	27.63	27.68	27.75	27.85	27.97	28.87	30.20	31.82	33.62	35.53	37.49	39.47	41.45	43.40	45.33	47.23	49.09	50.92	52.71	54.46	56.18	57.87	59.52	61.14	62.73	64.29	65.82
	I2	0.00	3.41	6.03	26.11	26.16	26.22	26.32	26.43	27.28	28.53	30.06	31.77	33.57	35.43	37.30	39.16	41.01	42.83	44.62	46.38	48.11	49.80	51.46	53.09	54.68	56.24	57.77	59.27	60.75	62.21
	I3	0.00	3.21	5.67	24.44	24.48	24.54	24.63	24.73	25.53	26.70	28.14	29.73	31.42	33.15	34.90	36.65	38.38	40.09	41.76	43.41	45.03	46.61	48.16	49.68	51.17	52.63	54.07	55.47	56.85	58.21
	I4	0.00	3.42	6.05	26.17	26.22	26.29	26.38	26.49	27.35	28.60	30.14	31.85	33.65	35.51	37.39	39.26	41.11	42.94	44.73	46.50	48.23	49.93	51.59	53.22	54.81	56.38	57.91	59.42	60.89	62.35
	I5	0.00	3.16	5.59	24.12	24.16	24.23	24.31	24.42	25.21	26.36	27.77	29.35	31.02	32.73	34.46	36.18	37.89	39.57	41.23	42.85	44.45	46.01	47.54	49.04	50.52	51.96	53.37	54.76	56.12	57.47
	J1	0.00	3.64	6.43	27.96	28.01	28.08	28.18	28.30	29.21	30.55	32.19	34.01	35.95	37.93	39.93	41.93	43.91	45.86	47.78	49.66	51.51	53.32	55.10	56.84	58.54	60.22	61.85	63.46	65.04	66.61
	J2	0.00	3.33	5.89	25.56	25.60	25.67	25.76	25.87	26.70	27.93	29.43	31.09	32.86	34.67	36.50	38.33	40.14	41.92	43.68	45.40	47.09	48.75	50.37	51.96	53.52	55.05	56.54	58.01	59.46	60.91
	J3	0.00	3.19	5.64	24.30	24.34	24.40	24.49	24.59	25.39	26.55	27.97	29.56	31.24	32.96	34.70	36.44	38.16	39.86	41.52	43.16	44.77	46.34	47.89	49.40	50.88	52.33	53.76	55.15	56.53	57.91
	J4	0.00	2.99	5.29	22.92	22.96	23.03	23.11	23.20	23.95	25.05	26.40	27.89	29.48	31.10	32.75	34.38	36.01	37.61	39.18	40.73	42.24	43.73	45.18	46.61	48.01	49.38	50.72	52.04	53.33	54.62
	J5	0.00	2.86	5.06	22.05	22.09	22.15	22.23	22.32	23.04	24.10	25.39	26.83	28.36	29.92	31.50	33.08	34.64	36.18	37.69	39.18	40.64	42.07	43.47	44.84	46.18	47.50	48.80	50.06	51.31	52.56
	A1	0.00	3.42	6.05	27.07	27.12	27.19	27.28	27.40	28.29	29.58	31.17	32.94	34.81	36.73	38.67	40.60	42.52	44.41	46.27	48.09	49.88	51.64	53.35	55.04	56.69	58.31	59.90	61.45	62.98	64.51
	A2	0.00	3.30	5.84	25.94	25.99	26.06	26.15	26.26	27.11	28.35	29.87	31.56	33.36	35.20	37.06	38.91	40.74	42.56	44.34	46.09	47.80	49.48	51.13	52.75	54.33	55.88	57.40	58.89	60.36	61.83
	A3	0.00	3.27	5.79	25.75	25.79	25.86	25.95	26.06	26.90	28.14	29.65	31.33	33.11	34.93	36.78	38.62	40.44	42.24	44.01	45.74	47.44	49.11	50.75	52.35	53.92	55.46	56.97	58.45	59.90	61.37
	A4	0.00	3.27	5.79	25.75	25.79	25.86	25.95	26.06	26.90	28.14	29.65	31.33	33.11	34.93	36.78	38.62	40.44	42.24	44.01	45.74	47.44	49.11	50.75	52.35	53.92	55.46	56.97	58.45	59.90	61.37
	A5	0.00	3.04	5.38	23.57	23.61	23.68	23.76	23.86	24.63	25.76	27.14	28.68	30.31	31.98	33.67	35.36	37.02	38.67	40.29	41.88	43.44	44.96	46.46	47.93	49.36	50.77	52.16	53.51	54.84	56.16
	B1	0.00	3.29	5.81	25.84	25.89	25.95	26.04	26.16	27.00	28.24	29.75	31.44	33.22	35.06	36.91	38.78	40.59	42.39	44.16	45.90	47.61	49.29	50.93	52.54	54.11	55.66	57.17	58.66	60.12	61.56
	B2	0.00	3.18	5.62	24.81	24.85	24.92	25.00	25.11	25.92	27.11	28.57	30.18	31.90	33.66	35.44	37.21	38.97	40.70	42.40	44.07	45.71	47.32	48.90	50.44	51.95	53.44	54.89	56.32	57.72	59.12
B3	0.00	2.92	5.16	22.42	22.46	22.52	22.60	22.70	23.43	24.51	25.82	27.28	28.83	30.42	32.03	33.63	35.22	36.79	38.33	39.84	41.32	42.77	44.20	45.59	46.96	48.30	49.61	50.90	52.17	53.44	
B4	0.00	3.06	5.41	23.71	23.75	23.81	23.89	24.00	24.77	25.91	27.30	28.84	30.48	32.16	33.86	35.56	37.23	38.89	40.52	42.11	43.68	45.22	46.72	48.20	49.65	51.06	52.45	53.82	55.15	56.48	
B5	0.00	3.16	5.58	24.66	24.71	24.77	24.86	24.96	25.77	26.95	28.40	30.01	31.71	33.46	35.23	36.99	38.74	40.46	42.15	43.81	45.44	47.04	48.61	50.14	51.65	53.12	54.57	55.99	57.38	58.75	
C1	0.00	3.41	6.03	26.42	26.46	26.53	26.63	26.74	27.60	28.87	30.42	32.14	33.97	35.84	37.74	39.62	41.49	43.34	45.15	46.93	48.68	50.39	52.07	53.71	55.32	56.90	58.45	59.97	61.46	62.92	
C2	0.00	3.35	5.92	25.98	26.03	26.10	26.19	26.30	27.15	28.40	29.92	31.61	33.41	35.25	37.11	38.97	40.81	42.62	44.41	46.16	47.88	49.56	51.21	52.83	54.41	55.97	57.49	58.98	60.45	61.91	
C3	0.00	3.35	5.92	25.98	26.03	26.10	26.19	26.30	27.15	28.40	29.92	31.61	33.41	35.25	37.11	38.97	40.81	42.62	44.41	46.16	47.88	49.56	51.21	52.83	54.41	55.97	57.49	58.98	60.45	61.91	
C4	0.00	3.35	5.92	25.98	26.03	26.10	26.19	26.30	27.15	28.40																					

Número de Armario	Caja Dispersion	Frecuencia (Khz)																												
		0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
8	A4	0.00	3.25	5.74	26.15	26.19	26.26	26.35	26.46	27.32	28.57	30.10	31.81	33.62	35.47	37.35	39.21	41.07	42.89	44.69	46.45	48.18	49.87	51.53	53.16	54.75	56.32	57.85	59.35	60.83
	A5	0.00	3.07	5.42	24.62	24.66	24.73	24.81	24.92	25.72	26.91	28.35	29.95	31.65	33.40	35.17	36.93	38.67	40.39	42.08	43.74	45.36	46.96	48.52	50.05	51.56	53.03	54.47	55.89	57.28
	B1	0.00	2.99	5.28	23.76	23.80	23.86	23.95	24.05	24.83	25.97	27.36	28.91	30.55	32.24	33.94	35.64	37.32	38.98	40.61	42.21	43.78	45.32	46.83	48.31	49.76	51.18	52.57	53.94	55.28
	B2	0.00	2.83	5.00	22.08	22.12	22.18	22.25	22.35	23.07	24.13	25.42	26.86	28.39	29.96	31.54	33.12	34.68	36.22	37.74	39.23	40.69	42.12	43.52	44.89	46.24	47.56	48.85	50.12	51.37
	B3	0.00	3.00	5.30	23.87	23.91	23.97	24.05	24.16	24.94	26.08	27.48	29.04	30.69	32.38	34.09	35.80	37.49	39.15	40.79	42.40	43.98	45.52	47.04	48.52	49.98	51.41	52.80	54.18	55.52
	B4	0.00	2.88	5.09	22.74	22.78	22.84	22.92	23.02	23.77	24.86	26.19	27.67	29.24	30.86	32.49	34.11	35.72	37.31	38.87	40.40	41.91	43.38	44.83	46.24	47.63	48.99	50.32	51.63	52.91
	B5	0.00	2.80	4.95	21.89	21.93	21.99	22.07	22.16	22.88	23.93	25.21	26.64	28.15	29.70	31.27	32.84	34.39	35.91	37.42	38.89	40.34	41.76	43.15	44.51	45.85	47.16	48.44	49.70	50.93
	C1	0.00	2.98	5.27	24.03	24.07	24.13	24.22	24.32	25.11	26.26	27.66	29.23	30.89	32.60	34.32	36.04	37.74	39.41	41.06	42.68	44.27	45.83	47.35	48.85	50.31	51.75	53.16	54.54	55.90
	C2	0.00	2.87	5.08	23.00	23.04	23.10	23.18	23.28	24.03	25.13	26.48	27.98	29.57	31.20	32.85	34.49	36.12	37.73	39.31	40.86	42.38	43.87	45.33	46.76	48.16	49.54	50.88	52.21	53.50
	C3	0.00	2.99	5.28	24.06	24.10	24.16	24.24	24.35	25.14	26.29	27.70	29.27	30.93	32.64	34.36	36.08	37.78	39.46	41.11	42.73	44.32	45.88	47.41	48.91	50.37	51.81	53.22	54.61	55.96
	C4	0.00	2.78	4.92	22.07	22.11	22.16	22.24	22.34	23.06	24.12	25.41	26.85	28.37	29.94	31.52	33.10	34.66	36.20	37.72	39.20	40.66	42.09	43.49	44.87	46.21	47.53	48.83	50.10	51.34
	C5	0.00	2.66	4.70	20.94	20.97	21.03	21.10	21.19	21.88	22.88	24.11	25.47	26.92	28.41	29.91	31.40	32.88	34.35	35.78	37.19	38.58	39.93	41.26	42.57	43.84	45.10	46.32	47.53	48.71
	D1	0.00	2.84	5.02	23.03	23.07	23.13	23.21	23.31	24.06	25.17	26.51	28.02	29.61	31.24	32.89	34.54	36.17	37.78	39.36	40.91	42.43	43.92	45.39	46.82	48.22	49.60	50.95	52.27	53.57
	D2	0.00	2.72	4.82	21.97	22.00	22.06	22.14	22.23	22.95	24.01	25.29	26.73	28.24	29.80	31.38	32.95	34.50	36.03	37.54	39.02	40.48	41.90	43.29	44.66	46.00	47.31	48.60	49.86	51.10
	D3	0.00	2.61	4.62	20.90	20.94	21.00	21.07	21.16	21.84	22.85	24.07	25.43	26.88	28.36	29.86	31.35	32.83	34.29	35.73	37.14	38.52	39.87	41.20	42.50	43.78	45.03	46.25	47.45	48.63
	D4	0.00	2.52	4.46	19.98	20.02	20.07	20.14	20.23	20.88	21.84	23.01	24.31	25.69	27.11	28.55	29.97	31.39	32.78	34.15	35.50	36.82	38.12	39.39	40.63	41.85	43.04	44.22	45.36	46.49
	D5	0.00	2.48	4.38	19.70	19.73	19.79	19.85	19.94	20.58	21.53	22.68	23.97	25.33	26.73	28.14	29.55	30.94	32.31	33.67	35.00	36.30	37.57	38.82	40.05	41.25	42.43	43.58	44.72	45.83
	E2	0.00	3.27	5.79	26.04	26.09	26.15	26.25	26.36	27.21	28.46	29.98	31.68	33.48	35.33	37.20	39.06	40.90	42.72	44.51	46.26	47.98	49.67	51.32	52.94	54.53	56.09	57.62	59.11	60.58
	E3	0.00	3.17	5.60	25.03	25.07	25.14	25.23	25.34	26.15	27.35	28.82	30.45	32.18	33.96	35.75	37.54	39.31	41.06	42.78	44.47	46.12	47.74	49.33	50.89	52.42	53.91	55.38	56.82	58.23
	E4	0.00	3.20	5.66	25.24	25.29	25.36	25.44	25.55	26.38	27.59	29.07	30.71	32.46	34.22	36.06	37.86	39.65	41.41	43.15	44.85	46.52	48.15	49.75	51.33	52.87	54.37	55.85	57.31	58.73
	E5	0.00	3.03	5.35	23.75	23.79	23.85	23.94	24.04	24.82	25.96	27.35	28.90	30.54	32.22	33.92	35.62	37.30	38.96	40.59	42.19	43.76	45.30	46.81	48.29	49.74	51.16	52.55	53.91	55.25
	F1	0.00	2.89	5.11	22.52	22.56	22.62	22.70	22.79	23.53	24.61	25.93	27.40	28.95	30.55	32.16	33.77	35.37	36.94	38.49	40.00	41.49	42.95	44.38	45.78	47.16	48.50	49.82	51.12	52.39
	F3	0.00	2.90	5.12	23.17	23.21	23.27	23.35	23.45	24.21	25.32	26.67	28.18	29.78	31.43	33.09	34.74	36.38	38.00	39.59	41.15	42.68	44.19	45.66	47.10	48.51	49.90	51.25	52.59	53.89
	F4	0.00	2.69	4.76	21.47	21.50	21.56	21.64	21.73	22.43	23.46	24.72	26.12	27.60	29.13	30.66	32.20	33.72	35.22	36.69	38.14	39.56	40.95	42.31	43.65	44.95	46.24	47.50	48.73	49.94
	F5	0.00	2.58	4.56	20.38	20.41	20.47	20.54	20.63	21.29	22.27	23.46	24.79	26.20	27.65	29.11	30.56	32.01	33.43	34.83	36.20	37.55	38.87	40.16	41.43	42.67	43.89	45.09	46.26	47.41
	G2	0.00	3.56	6.30	28.89	28.94	29.02	29.12	29.24	30.19	31.57	33.26	35.15	37.15	39.20	41.27	43.33	45.37	47.39	49.37	51.32	53.23	55.10	56.94	58.74	60.50	62.23	63.92	65.58	67.21
	G3	0.00	3.38	5.98	27.38	27.43	27.50	27.60	27.72	28.61	29.93	31.53	33.32	35.21	37.15	39.11	41.07	43.01	44.92	46.80	48.65	50.46	52.23	53.97	55.67	57.34	58.98	60.59	62.16	63.71
	G4	0.00	3.30	5.83	26.48	26.52	26.59	26.69	26.80	27.67	28.93	30.49	32.21	34.04	35.92	37.82	39.71	41.59	43.43	45.25	47.04	48.79	50.50	52.18	53.83	55.45	57.03	58.58	60.10	61.60
	H1	0.00	2.99	5.29	24.11	24.15	24.22	24.30	24.41	25.19	26.35	27.76	29.34	31.00	32.71	34.44	36.16	37.87	39.55	41.21	42.84	44.43	45.99	47.52	49.02	50.49	51.94	53.35	54.74	56.10
	H2	0.00	2.83	5.00	22.68	22.72	22.78	22.86	22.95	23.70	24.78	26.11	27.59	29.16	30.77	32.39	34.01	35.62	37.20	38.76	40.29	41.79	43.25	44.69	46.11	47.49	48.85	50.17	51.48	52.76
	H3	0.00	2.67	4.72	21.29	21.33	21.39	21.46	21.55	22.25	23.27	24.52	25.91	27.38	28.89	30.41	31.94	33.44	34.93	36.39	37.83	39.23	40.61	41.97	43.29	44.59	45.86	47.11	48.34	49.54
	H4	0.00	2.58	4.56	20.39	20.42	20.48	20.55	20.64	21.30	22.28	23.47	24.81	26.21	27.66	29.12	30.58	32.02	33.45	34.85	36.22	37.57	38.89	40.18	41.45	42.70	43.91	45.11	46.28	47.43
	H5	0.00	2.40	4.24	18.86	18.89	18.94	19.01	19.09	19.71	20.61	21.72	22.95	24.25	25.59	26.94	28.29	29.63	30.94	32.24	33.51	34.75	35.98	37.18	38.35	39.50	40.63	41.73	42.82	43.88
I5	0.00	3.89	6.88	29.73	29.78	29.86	29.96	30.09	31.06	32.49	34.23	36.17	38.22	40.33	42.46	44.59	46.69	48.76	50.81	52.81	54.77	56.70	58.59	60.44	62.25	64.03	65.77	67.48	69.16	
J4	0.00	2.53	4.48	20.06	20.10	20.15	20.22	20.31	20.97	21.93	23.10	24.41	25.80	27.22	28.66	30.09	31.51	32.91	34.29	35.64	36.97	38.27	39.54	40.79	42.02	43.22	44.39	45.55	46.68	
J5	0.00	2.53	4.47	19.73	19.76	19.81	19.88	19.97	20.61	21.56	22.71	24.00	25.37	26.77	28.18	29.59	30.98	32.36	33.72	35.05	36.35	37.63	38.88	40.11	41.31	42.49	43.65	44.78	45.90	
9	A1	0.00	3.43	6.06	27.37	27.42	27.49	27.59	27.71	28.60	29.92	31.52	33.31	35.20	37.14	39.10	41.06	43.00	44.91	46.79	48.63	50.44	52.21	53.95	55.66	57.33	58.96	60.57	62.14	63.69
	A2	0.00	3.28	5.79	26.06	26.10	26.17	26.26	26.38	27.23	28.48	30.00	31.70	33.51	35.36	37.22	39.08	40.93	42.75	44.54	46.29	48.02	49.70	51.36	52.98	54.57	56.13	57.66	59.15	60.63
	A3	0.00	3.14	5.56	24.85	24.89	24.96	25.04	25.15	25.96	27.15	28.61	30.23	31.95	33.71	35.49	37.27	39.03	40.76	42.47	44.14	45.78	47.39	48.97	50.52	52.03	53.52	54.98	56.40	57.81
	A4	0.00	2.95	5.22	23.25	23.30	23.36	23.44	23.54	24.30	25.41	26.78	28.29	29.90	31.55	33.22	34.88	36.52	38.15	39.74	41.31	42.85	44.36	45.83	47.28	48.70	50.09	51.45	52.79	54.10
	A5	0.00	3.13	5.53	24.75	24.80	24.86	24.95	25.05	25.86	27.05	28.50																		

Número de Armario	Caja Dispersion	Frecuencia (Khz)																												
		0	0.8	2.5	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
9	F4	0.00	2.58	4.56	20.37	20.40	20.45	20.53	20.61	21.28	22.26	23.45	24.78	26.19	27.63	29.09	30.54	31.99	33.41	34.81	36.18	37.53	38.85	40.14	41.41	42.65	43.87	45.06	46.23	47.38
	F5	0.00	2.42	4.28	19.00	19.04	19.09	19.15	19.23	19.86	20.77	21.88	23.12	24.43	25.78	27.14	28.50	29.85	31.17	32.48	33.76	35.01	36.25	37.45	38.64	39.79	40.93	42.04	43.14	44.21
	A1	0.00	2.32	4.10	19.17	19.21	19.26	19.33	19.41	20.04	20.95	22.08	23.33	24.65	26.02	27.39	28.76	30.12	31.45	32.77	34.06	35.33	36.57	37.79	38.98	40.15	41.30	42.42	43.53	44.61
	A2	0.00	2.19	3.88	18.01	18.04	18.09	18.15	18.23	18.82	19.68	20.74	21.91	23.16	24.44	25.73	27.01	28.29	29.54	30.78	31.99	33.19	34.35	35.50	36.62	37.72	38.79	39.85	40.88	41.91
	A3	0.00	2.01	3.55	16.47	16.49	16.54	16.59	16.67	17.20	17.99	18.96	20.03	21.17	22.34	23.52	24.70	25.86	27.01	28.14	29.25	30.34	31.41	32.45	33.48	34.48	35.46	36.43	37.38	38.31
	A4	0.00	2.14	3.78	17.64	17.67	17.72	17.78	17.85	18.43	19.28	20.31	21.46	22.68	23.93	25.20	26.46	27.70	28.94	30.15	31.34	32.50	33.64	34.76	35.86	36.94	37.99	39.03	40.04	41.04
	B4	0.00	2.06	3.65	17.12	17.15	17.20	17.26	17.33	17.89	18.71	19.72	20.84	22.02	23.23	24.46	25.68	26.90	28.09	29.27	30.42	31.55	32.66	33.75	34.82	35.86	36.89	37.89	38.87	39.84
	B5	0.00	1.97	3.48	16.17	16.20	16.25	16.30	16.37	16.90	17.68	18.62	19.68	20.80	21.94	23.10	24.26	25.40	26.53	27.64	28.73	29.80	30.85	31.88	32.88	33.87	34.84	35.79	36.72	37.63
	C1	0.00	1.89	3.34	15.94	15.97	16.01	16.06	16.13	16.65	17.42	18.35	19.39	20.49	21.62	22.76	23.90	25.03	26.14	27.24	28.31	29.37	30.40	31.41	32.40	33.37	34.33	35.26	36.18	37.08
	C2	0.00	1.76	3.11	14.73	14.76	14.79	14.85	14.91	15.39	16.10	16.96	17.92	18.94	19.99	21.04	22.09	23.14	24.16	25.18	26.17	27.14	28.10	29.03	29.95	30.85	31.73	32.59	33.44	34.27
	C3	0.00	1.66	2.94	13.76	13.79	13.82	13.87	13.93	14.38	15.04	15.85	16.74	17.70	18.67	19.66	20.64	21.62	22.58	23.52	24.45	25.36	26.25	27.13	27.98	28.82	29.64	30.45	31.24	32.02
	C5	0.00	1.70	3.00	14.00	14.02	14.06	14.11	14.17	14.63	15.30	16.12	17.03	18.00	18.99	20.00	21.00	21.99	22.97	23.93	24.87	25.80	26.70	27.59	28.46	29.32	30.15	30.98	31.78	32.57
	D1	0.00	1.54	2.72	12.63	12.65	12.68	12.73	12.78	13.19	13.80	14.54	15.36	16.23	17.13	18.03	18.94	19.83	20.71	21.58	22.43	23.26	24.08	24.88	25.67	26.44	27.19	27.94	28.66	29.37
	D2	0.00	1.66	2.94	13.76	13.81	13.84	13.89	13.95	14.40	15.06	15.87	16.77	17.72	18.70	19.69	20.67	21.65	22.61	23.56	24.48	25.40	26.29	27.16	28.02	28.86	29.69	30.49	31.29	32.06
	D3	0.00	1.71	3.02	14.37	14.39	14.43	14.48	14.54	15.01	15.70	16.54	17.48	18.47	19.49	20.52	21.55	22.57	23.57	24.56	25.52	26.47	27.40	28.32	29.21	30.09	30.95	31.79	32.61	33.43
	D4	0.00	1.57	2.77	13.10	13.13	13.16	13.21	13.26	13.69	14.32	15.09	15.94	16.85	17.78	18.72	19.65	20.58	21.50	22.40	23.28	24.15	25.00	25.83	26.64	27.44	28.23	28.99	29.75	30.49
	D5	0.00	1.45	2.56	12.01	12.03	12.07	12.11	12.16	12.55	13.13	13.83	14.62	15.45	16.30	17.16	18.02	18.87	19.71	20.53	21.34	22.14	22.91	23.68	24.42	25.16	25.88	26.58	27.27	27.95
	E1	0.00	2.49	4.40	20.33	20.36	20.42	20.49	20.58	21.24	22.22	23.41	24.73	26.14	27.58	29.04	30.49	31.93	33.35	34.74	36.11	37.46	38.78	40.07	41.33	42.57	43.79	44.98	46.15	47.29
	E2	0.00	2.06	3.65	17.12	17.15	17.20	17.26	17.33	17.89	18.71	19.71	20.83	22.01	23.23	24.45	25.68	26.89	28.08	29.26	30.41	31.55	32.66	33.74	34.81	35.85	36.88	37.88	38.86	39.83
	E3	0.00	1.98	3.50	16.26	16.28	16.33	16.38	16.45	16.99	17.76	18.72	19.78	20.90	22.06	23.22	24.38	25.53	26.67	27.78	28.88	29.95	31.01	32.04	33.05	34.04	35.01	35.97	36.90	37.82
	E4	0.00	2.06	3.65	17.12	17.15	17.20	17.26	17.33	17.89	18.71	19.71	20.83	22.01	23.23	24.45	25.68	26.89	28.08	29.26	30.41	31.55	32.66	33.74	34.81	35.85	36.88	37.88	38.86	39.83
	E5	0.00	1.92	3.40	15.85	15.88	15.92	15.97	16.04	16.56	17.32	18.25	19.28	20.38	21.50	22.64	23.77	24.89	26.00	27.09	28.16	29.20	30.23	31.24	32.22	33.19	34.14	35.07	35.98	36.87
	F2	0.00	2.04	3.60	17.22	17.25	17.30	17.36	17.43	17.99	18.82	19.83	20.95	22.14	23.36	24.60	25.83	27.05	28.25	29.43	30.59	31.73	32.85	33.94	35.01	36.06	37.09	38.10	39.09	40.06
	F3	0.00	1.91	3.37	16.04	16.07	16.11	16.17	16.24	16.76	17.53	18.47	19.52	20.62	21.76	22.91	24.06	25.19	26.31	27.41	28.50	29.56	30.60	31.61	32.61	33.59	34.55	35.49	36.41	37.32
	F4	0.00	1.79	3.16	14.93	14.95	14.99	15.04	15.11	15.60	16.31	17.19	18.16	19.19	20.25	21.32	22.39	23.45	24.49	25.51	26.52	27.51	28.47	29.42	30.35	31.26	32.15	33.03	33.89	34.74
	F5	0.00	1.69	2.99	13.99	14.01	14.05	14.10	14.16	14.62	15.29	16.11	17.02	17.99	18.98	19.98	20.98	21.97	22.95	23.91	24.85	25.78	26.68	27.57	28.44	29.29	30.13	30.95	31.75	32.53
G1	0.00	2.56	4.52	20.81	20.84	20.90	20.97	21.06	21.74	22.74	23.96	25.32	26.75	28.23	29.72	31.21	32.68	34.14	35.56	36.97	38.34	39.69	41.01	42.31	43.58	44.82	46.04	47.24	48.41	
G2	0.00	2.47	4.37	20.21	20.25	20.30	20.37	20.46	21.12	22.09	23.27	24.59	25.99	27.42	28.87	30.32	31.75	33.16	34.55	35.91	37.24	38.55	39.84	41.10	42.33	43.54	44.72	45.88	47.03	
G3	0.00	2.75	4.86	22.12	22.16	22.22	22.29	22.39	23.11	24.17	25.47	26.91	28.44	30.01	31.60	33.18	34.74	36.29	37.80	39.30	40.76	42.19	43.60	44.97	46.32	47.64	48.94	50.21	51.46	
G5	0.00	1.71	3.02	14.37	14.40	14.44	14.49	14.55	15.02	15.71	16.55	17.49	18.48	19.50	20.53	21.56	22.57	23.57	24.55	25.53	26.48	27.42	28.33	29.22	30.10	30.96	31.80	32.63	33.44	
H1	0.00	1.60	2.82	13.32	13.34	13.38	13.42	13.48	13.92	14.56	15.34	16.21	17.13	18.07	19.03	19.98	20.92	21.85	22.76	23.66	24.54	25.41	26.25	27.08	27.89	28.69	29.47	30.24	30.99	
H2	0.00	1.47	2.60	12.15	12.17	12.20	12.24	12.29	12.69	13.27	13.98	14.78	15.62	16.48	17.35	18.22	19.08	19.92	20.76	21.58	22.38	23.17	23.94	24.69	25.44	26.16	26.87	27.57	28.26	
H3	0.00	1.66	2.93	14.02	14.05	14.08	14.13	14.19	14.65	15.32	16.15	17.06	18.03	19.03	20.03	21.03	22.02	23.00	23.97	24.91	25.84	26.75	27.64	28.51	29.37	30.20	31.03	31.83	32.62	
H4	0.00	1.53	2.71	12.88	12.90	12.93	12.98	13.03	13.46	14.07	14.83	15.67	16.56	17.47	18.39	19.31	20.23	21.12	22.01	22.88	23.73	24.56	25.38	26.18	26.97	27.74	28.49	29.23	29.96	
H5	0.00	1.46	2.58	12.10	12.12	12.15	12.19	12.25	12.64	13.22	13.93	14.72	15.56	16.42	17.28	18.15	19.00	19.85	20.68	21.49	22.29	23.08	23.85	24.60	25.34	26.06	26.77	27.47	28.15	
G40	0.00	1.84	3.25	15.85	15.88	15.92	15.97	16.04	16.56	17.32	18.25	19.28	20.38	21.50	22.64	23.77	24.89	26.00	27.09	28.16	29.20	30.23	31.24	32.22	33.19	34.14	35.07	35.98	36.87	
G4	0.00	1.63	2.89	14.44	14.46	14.50	14.55	14.61	15.08	15.78	16.62	17.56	18.56	19.59	20.62	21.65	22.67	23.68	24.67	25.65	26.60	27.54	28.45	29.35	30.23	31.09	31.94	32.77	33.59	
A1	0.00	2.62	4.63	22.10	22.14	22.19	22.27	22.37	23.09	24.15	25.44	26.88	28.41	29.98	31.56	33.14	34.71	36.25	37.77	39.25	40.72	42.15	43.55	44.93	46.27	47.59	48.89	50.16	51.41	
A2	0.00	2.49	4.41	20.95	20.99	21.04	21.12	21.21	21.89	22.90	24.12	25.49	26.94	28.43	29.93	31.42	32.91	34.37	35.81	37.22	38.61	39.96	41.29	42.60	43.88	45.13	46.36	47.56	48.74	
A3	0.00	2.38	4.21	19.88	19.91	19.96	20.03	20.12	20.77	21.72	22.88	24.18	25.55	26.97	28.39	29.81	31.22	32.60	33.97	35.31	36.62	37.91	39.17	40.41	41.62	42.81	43.98	45.12	46.24	
A4	0.00	2.26	3.99	18.73	18.76	18.81	18.88	18.96	19.57	20.47	21.57	22.79	24.08	25.41	26.75	28.09	29.42													

Número de Armario	Caja Dispersion	Frecuencia (Khz)																												
		0	0.8	2.5	40	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
11	G1	0.00	2.44	4.31	20.27	20.30	20.36	20.43	20.52	21.18	22.15	23.34	24.66	26.06	27.50	28.95	30.40	31.83	33.25	34.64	36.01	37.35	38.66	39.95	41.21	42.44	43.66	44.84	46.01	47.15
	G2	0.00	2.30	4.06	19.03	19.06	19.11	19.18	19.26	19.88	20.79	21.91	23.15	24.46	25.81	27.18	28.54	29.88	31.21	32.52	33.80	35.06	36.29	37.50	38.68	39.84	40.98	42.10	43.19	44.26
	G3	0.00	2.17	3.84	17.87	17.90	17.95	18.01	18.09	18.68	19.53	20.58	21.75	22.98	24.25	25.53	26.81	28.07	29.32	30.55	31.75	32.93	34.09	35.23	36.34	37.43	38.50	39.55	40.57	41.58
	G4	0.00	2.02	3.58	16.55	16.58	16.63	16.68	16.76	17.30	18.09	19.06	20.14	21.29	22.46	23.65	24.83	26.00	27.16	28.29	29.41	30.50	31.58	32.63	33.66	34.67	35.66	36.63	37.58	38.51
	G5	0.00	1.93	3.41	15.91	15.94	15.98	16.04	16.11	16.63	17.39	18.32	19.36	20.46	21.59	22.73	23.87	25.00	26.11	27.20	28.27	29.32	30.36	31.37	32.36	33.33	34.28	35.21	36.13	37.02
	H2	0.00	2.06	3.64	16.81	16.84	16.88	16.94	17.01	17.56	18.37	19.35	20.45	21.61	22.80	24.01	25.21	26.40	27.57	28.73	29.86	30.97	32.06	33.13	34.17	35.20	36.20	37.19	38.15	39.10
	H3	0.00	2.07	3.67	16.90	16.93	16.98	17.03	17.11	17.66	18.47	19.46	20.56	21.73	22.93	24.14	25.35	26.55	27.73	28.89	30.03	31.14	32.24	33.31	34.36	35.39	36.40	37.40	38.37	39.32
	H4	0.00	1.94	3.43	15.69	15.71	15.76	15.81	15.88	16.39	17.14	18.06	19.09	20.17	21.28	22.41	23.53	24.64	25.73	26.81	27.87	28.90	29.92	30.92	31.89	32.85	33.79	34.71	35.61	36.49
	H5	0.00	2.01	3.56	16.49	16.52	16.56	16.62	16.69	17.23	18.02	18.98	20.06	21.20	22.37	23.55	24.73	25.90	27.05	28.18	29.29	30.38	31.45	32.50	33.52	34.53	35.51	36.48	37.43	38.36
	I1	0.00	1.79	3.16	14.65	14.67	14.71	14.76	14.83	15.31	16.01	16.87	17.82	18.83	19.87	20.92	21.97	23.01	24.03	25.03	26.02	26.99	27.94	28.87	29.78	30.67	31.55	32.41	33.25	34.08
	I2	0.00	1.79	3.17	14.66	14.68	14.72	14.77	14.84	15.32	16.02	16.88	17.83	18.85	19.89	20.94	21.99	23.02	24.05	25.05	26.04	27.01	27.96	28.89	29.80	30.70	31.57	32.43	33.28	34.10
	I3	0.00	1.76	3.10	14.42	14.44	14.48	14.53	14.59	15.07	15.76	16.60	17.54	18.54	19.56	20.59	21.62	22.65	23.65	24.64	25.61	26.57	27.50	28.42	29.31	30.19	31.05	31.90	32.73	33.54
	I4	0.00	1.86	3.29	15.13	15.16	15.20	15.25	15.32	15.81	16.54	17.42	18.41	19.46	20.53	21.62	22.70	23.77	24.83	25.86	26.88	27.88	28.87	29.83	30.77	31.69	32.60	33.48	34.35	35.21
	12	A1	0.00	3.35	5.92	26.25	26.30	26.37	26.46	26.57	27.43	28.69	30.23	31.94	33.75	35.62	37.50	39.37	41.23	43.07	44.87	46.64	48.37	50.07	51.74	53.37	54.98	56.55	58.08	59.59
A2		0.00	3.35	5.91	26.24	26.29	26.36	26.45	26.56	27.42	28.68	30.21	31.93	33.74	35.60	37.48	39.36	41.21	43.05	44.85	46.62	48.35	50.05	51.72	53.35	54.95	56.52	58.06	59.57	61.05
A3		0.00	3.23	5.72	25.19	25.23	25.30	25.39	25.49	26.32	27.53	29.00	30.64	32.39	34.17	35.98	37.78	39.56	41.32	43.05	44.75	46.41	48.04	49.64	51.21	52.75	54.25	55.73	57.18	58.60
A4		0.00	3.46	6.11	27.31	27.35	27.43	27.52	27.64	28.53	29.84	31.44	33.22	35.11	37.05	39.00	40.95	42.89	44.79	46.67	48.51	50.31	52.08	53.82	55.52	57.18	58.81	60.42	61.99	63.53
A5		0.00	3.36	5.94	26.33	26.38	26.45	26.54	26.65	27.51	28.78	30.32	32.04	33.86	35.73	37.61	39.49	41.36	43.20	45.00	46.78	48.52	50.23	51.90	53.54	55.14	56.72	58.26	59.78	61.26
B1		0.00	3.23	5.71	25.14	25.19	25.25	25.34	25.45	26.27	27.48	28.95	30.59	32.33	34.11	35.91	37.71	39.49	41.24	42.97	44.66	46.33	47.96	49.55	51.12	52.65	54.15	55.63	57.07	58.49
B2		0.00	3.11	5.50	24.05	24.10	24.16	24.24	24.35	25.13	26.29	27.70	29.27	30.93	32.64	34.36	36.08	37.78	39.46	41.11	42.73	44.32	45.88	47.41	48.90	50.37	51.81	53.22	54.60	55.96
B4		0.00	3.06	5.40	23.66	23.71	23.77	23.85	23.95	24.73	25.86	27.25	28.79	30.43	32.11	33.80	35.49	37.17	38.82	40.44	42.04	43.60	45.14	46.64	48.11	49.56	50.97	52.36	53.72	55.05
B5		0.00	2.94	5.20	22.58	22.62	22.68	22.75	22.85	23.59	24.67	25.99	27.47	29.03	30.63	32.25	33.86	35.46	37.04	38.59	40.11	41.60	43.06	44.50	45.90	47.28	48.63	49.95	51.25	52.52
C1		0.00	2.91	5.14	22.35	22.39	22.45	22.52	22.62	23.35	24.42	25.73	27.19	28.73	30.32	31.92	33.52	35.10	36.66	38.19	39.70	41.18	42.63	44.04	45.44	46.80	48.13	49.44	50.73	51.99
C2		0.00	2.80	4.94	21.29	21.33	21.39	21.46	21.55	22.25	23.27	24.52	25.91	27.38	28.89	30.42	31.94	33.45	34.93	36.39	37.83	39.24	40.62	41.97	43.29	44.59	45.87	47.11	48.34	49.54
C4		0.00	2.80	4.94	21.31	21.34	21.40	21.47	21.57	22.26	23.28	24.53	25.92	27.39	28.91	30.43	31.96	33.46	34.95	36.41	37.85	39.26	40.64	41.99	43.32	44.62	45.89	47.14	48.36	49.57
C5		0.00	2.66	4.70	20.08	20.12	20.17	20.24	20.33	20.98	21.94	23.12	24.43	25.82	27.24	28.68	30.12	31.54	32.94	34.32	35.67	37.00	38.30	39.58	40.83	42.05	43.25	44.43	45.58	46.72
D1		0.00	2.36	4.16	18.26	18.29	18.34	18.40	18.48	19.08	19.95	21.02	22.22	23.48	24.77	26.08	27.39	28.68	29.95	31.21	32.44	33.65	34.83	35.99	37.12	38.24	39.33	40.40	41.45	42.48
D2		0.00	2.21	3.91	16.98	17.01	17.05	17.11	17.18	17.74	18.55	19.55	20.66	21.83	23.03	24.25	25.46	26.66	27.85	29.02	30.16	31.28	32.38	33.46	34.52	35.55	36.57	37.56	38.54	39.50
D3		0.00	2.15	3.81	16.58	16.61	16.65	16.71	16.78	17.32	18.12	19.09	20.17	21.31	22.49	23.68	24.86	26.04	27.19	28.33	29.45	30.54	31.62	32.67	33.70	34.71	35.70	36.68	37.63	38.56
D4		0.00	2.15	3.81	16.58	16.61	16.65	16.71	16.78	17.32	18.12	19.09	20.17	21.31	22.49	23.68	24.86	26.04	27.19	28.33	29.45	30.54	31.62	32.67	33.70	34.71	35.70	36.68	37.63	38.56
E1		0.00	2.70	4.78	21.24	21.27	21.33	21.40	21.50	22.19	23.21	24.45	25.84	27.31	28.81	30.33	31.85	33.36	34.84	36.30	37.73	39.13	40.51	41.86	43.18	44.47	45.74	46.99	48.21	49.41
E2		0.00	2.67	4.73	21.04	21.08	21.13	21.21	21.30	21.99	23.00	24.23	25.60	27.06	28.55	30.06	31.56	33.05	34.52	35.96	37.38	38.77	40.14	41.47	42.78	44.06	45.32	46.56	47.77	48.95
E3		0.00	2.56	4.53	19.99	20.02	20.08	20.15	20.23	20.89	21.84	23.01	24.32	25.70	27.12	28.55	29.98	31.39	32.79	34.16	35.51	36.83	38.13	39.40	40.64	41.86	43.05	44.23	45.38	46.50
E4	0.00	2.53	4.47	19.75	19.78	19.83	19.90	19.99	20.63	21.58	22.74	24.03	25.39	26.79	28.21	29.62	31.02	32.40	33.75	35.08	36.39	37.67	38.92	40.15	41.36	42.54	43.69	44.83	45.94	
E5	0.00	2.43	4.29	18.76	18.80	18.85	18.91	18.99	19.61	20.51	21.60	22.83	24.13	25.46	26.80	28.14	29.47	30.78	32.07	33.33	34.57	35.79	36.98	38.15	39.29	40.41	41.51	42.59	43.65	
F1	0.00	2.56	4.52	19.94	19.98	20.03	20.10	20.19	20.84	21.79	22.96	24.26	25.64	27.06	28.49	29.91	31.32	32.71	34.08	35.43	36.75	38.04	39.31	40.55	41.76	42.96	44.12	45.27	46.40	
F2	0.00	2.43	4.30	18.79	18.82	18.87	18.93	19.02	19.63	20.53	21.63	22.86	24.15	25.49	26.83	28.18	29.51	30.82	32.11	33.37	34.62	35.83	37.03	38.20	39.34	40.46	41.57	42.65	43.71	
F3	0.00	2.31	4.08	17.63	17.66	17.71	17.77	17.84	18.42	19.27	20.30	21.45	22.67	23.92	25.18	26.44	27.69	28.92	30.13	31.32	32.48	33.63	34.75	35.84	36.92	37.97	39.01	40.02	41.02	
F5	0.00	2.41	4.26	18.65	18.68	18.73	18.80	18.88	19.49	20.38	21.47	22.69	23.98	25.30	26.64	27.97	29.29	30.59	31.87	33.13	34.36	35.57	36.76	37.92	39.05	40.17	41.26	42.33	43.39	

ANEXO C - PROGRAMAS MATLAB

El cálculo de la capacidad para un esquema multi-portadora es bastante tedioso debido al gran número de portadoras y la dependencia del comportamiento del canal para cada una. Por ello es en esta sección la que hemos dedicado a dar una solución para este problema.

Los programas aquí presentados han sido desarrollados en Matlab versión 6.1. Su interfaz de aplicación es a través de la línea de comandos del entorno de Matlab. Pueden ser compilado a través de las herramientas de Matlab hacia un programa ejecutable autónomo. Pero ese procedimiento es preferible dejarlo al usuario final. Este podrá modificarlo a su gusto para darle el uso especializado que se requiera. Un ejemplo de esto es su adaptación hacia VDSL, que se logra simplemente cambiando la función de transferencia del filtro.

Flujo de ejecución de los programas

A continuación se muestra un diagrama de bloques que representa la dependencia del programa principal con las demás funciones implementadas.

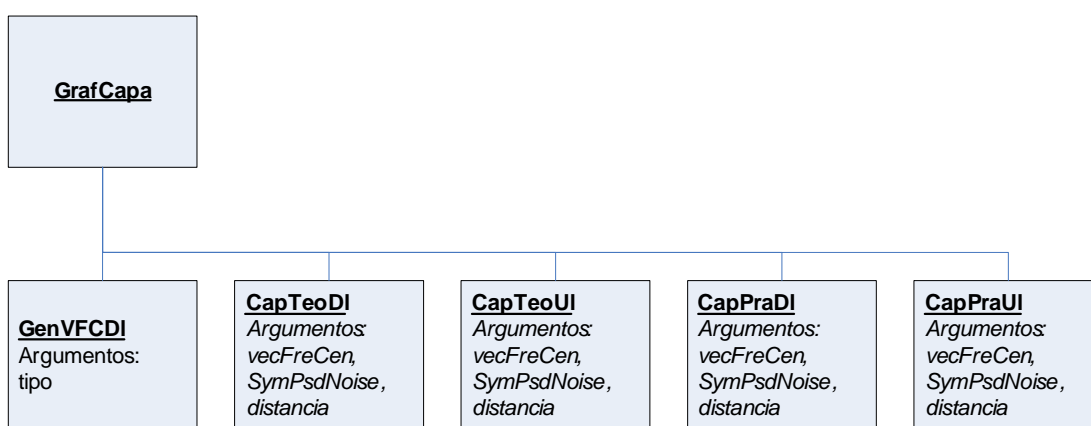


Figura C.1 Flujo de ejecución del programa de ejemplo “GrafCapa”.

Más detalles son mostrados a continuación, primero con los programas para Capacidad y luego para los de Ruido:

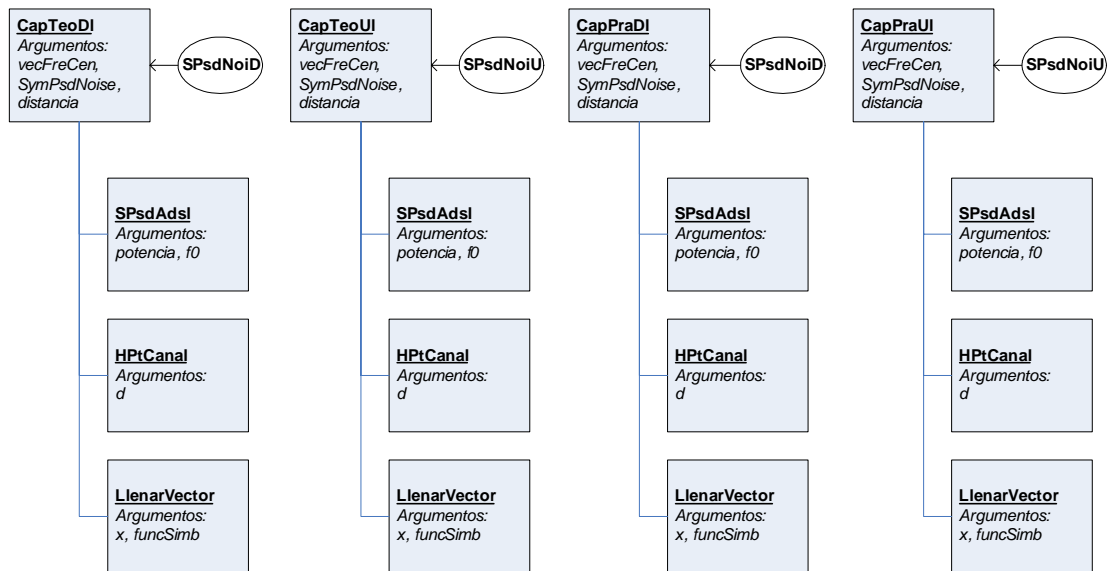


Figura C.2 Flujo de ejecución de los programas para cálculo de Capacidad.

Nótese que la Figura C.2 se observan unos óvalos a la derecha de cada programa principal. Esto es debido a que la ejecución de, por ejemplo: "SPsdNoiD", no es iniciada dentro del programa "CapTeoDI" sino que es un argumento que debe ser ingresado a este último.

La sintaxis de ejecución para este tipo de casos puede ser vista dentro del programa de Ejemplo "GrafCapa" que no necesita ningún argumento.

Cada una de las funciones devuelve un valor al programa que la invoca. El tipo de valor devuelto depende de la función implementada y puede ser consultado este tipo de dato al invocar a la ayuda de cada una de las funciones, a través de la línea de comandos. A continuación detallamos el procedimiento para estas ayudas, con un ejemplo.

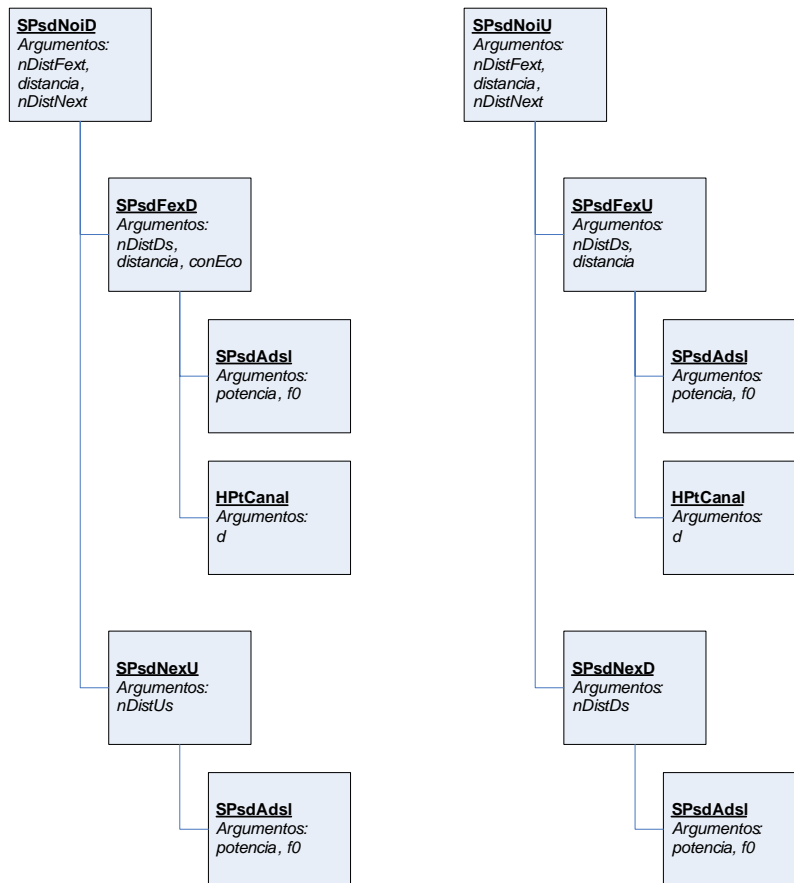


Figura C.3 Flujo de ejecución de los programas generadores de Ruido.

Cada uno de los programas mostrados tiene un pequeño instructivo de ayuda que puede ser mostrado en la consola de matlab de la manera siguiente:

```
>>help nombre_del_programa
```

Esto ayuda al programador y usuario en el momento de dudas. En la Figura C.4 mostramos un ejemplo.

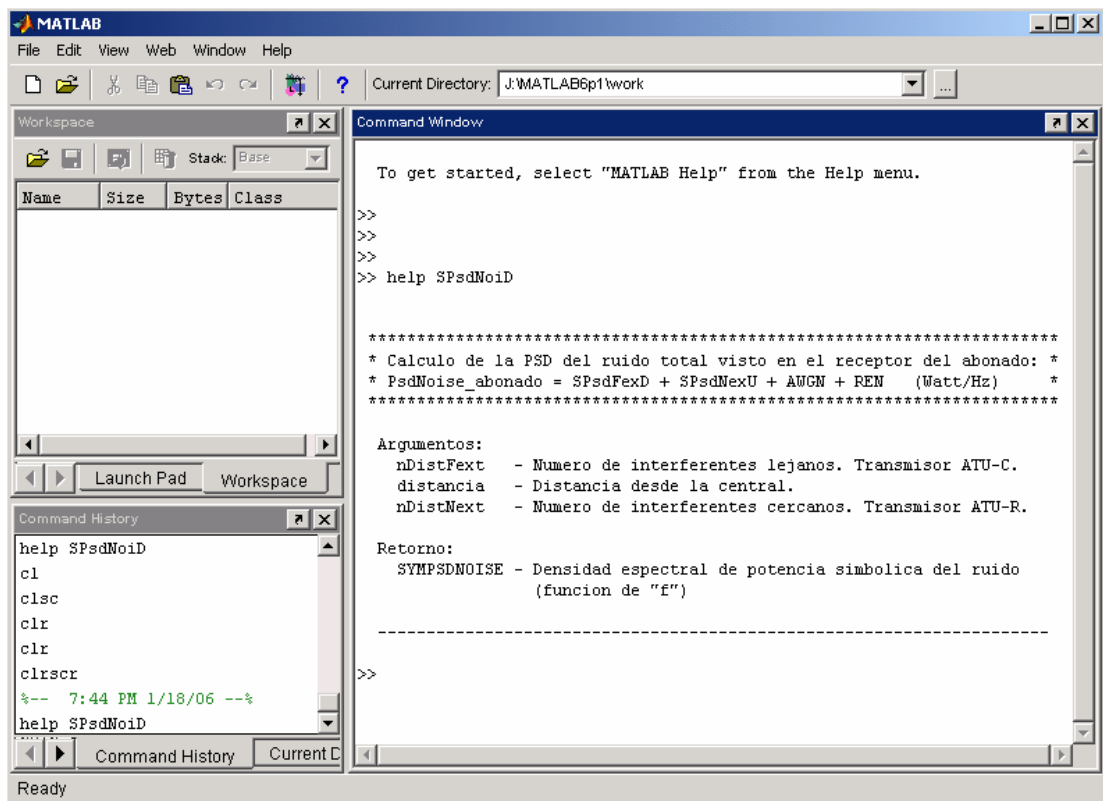


Figura C.4 Uso del comando “help” para visualizar ayuda en los programas.

A continuación ofrecemos el código fuente de todos los programas o funciones hechos en Matlab.

GrafCapa.m

```

freCenDl = GenVFCDl('down fdm');
freCenUl = GenVFCDl('up fdm');

%***** Capacidad Teorica Down *****
bitsDownTeo1 = CapTeoDl( freCenDl, SPsdNoiD( 49, 0.6991, 49), 0.6991 );
bitsDownTeo2 = CapTeoDl( freCenDl, SPsdNoiD( 9, 0.6991, 9), 0.6991 );

bitsDownTeo3 = CapTeoDl( freCenDl, SPsdNoiD( 49, 2.5826, 49), 2.5826 );
bitsDownTeo4 = CapTeoDl( freCenDl, SPsdNoiD( 9, 2.5826, 9), 2.5826 );
%***** FIN: Capacidad Teorica Down *****

%***** Capacidad Teorica Up *****
bitsUpTeo1 = CapTeoUl( freCenUl, SPsdNoiU( 49, 0.6991, 49), 0.6991 );
bitsUpTeo2 = CapTeoUl( freCenUl, SPsdNoiU( 9, 0.6991, 9), 0.6991 );

bitsUpTeo3 = CapTeoUl( freCenUl, SPsdNoiU( 49, 2.5826, 49), 2.5826 );
bitsUpTeo4 = CapTeoUl( freCenUl, SPsdNoiU( 9, 2.5826, 9), 2.5826 );
%***** FIN: Capacidad Teorica Up *****

```

```

***** Capacidad Practica Down *****
bitsDownPra1 = CapPraDl( freCenDl, SPsdNoiD( 49, 0.6991, 49), 0.6991 );
bitsDownPra2 = CapPraDl( freCenDl, SPsdNoiD( 9, 0.6991, 9), 0.6991 );

bitsDownPra3 = CapPraDl( freCenDl, SPsdNoiD( 49, 2.5826, 49), 2.5826 );
bitsDownPra4 = CapPraDl( freCenDl, SPsdNoiD( 9, 2.5826, 9), 2.5826 );
***** FIN: Capacidad Practica Down *****

***** Capacidad Practica Up *****
bitsUpPra1 = CapPraUl( freCenUl, SPsdNoiU( 49, 0.6991, 49), 0.6991 );
bitsUpPra2 = CapPraUl( freCenUl, SPsdNoiU( 9, 0.6991, 9), 0.6991 );

bitsUpPra3 = CapPraUl( freCenUl, SPsdNoiU( 49, 2.5826, 49), 2.5826 );
bitsUpPra4 = CapPraUl( freCenUl, SPsdNoiU( 9, 2.5826, 9), 2.5826 );
***** FIN: Capacidad Practica Up *****

```

CapTeoDl.m

```

function vecCapCanReal = CapTeoDl(vecFreCen, SymPsdNoise, distancia)
%nombre archivo: CapTeoDl.m
%
%Capacidad Teorica en Download segun Shannon.
%
%Argumentos:
%   vecFreCen   - Es un vector de todos los valores de frecuencia central
%                 con los que se va a evaluar la SNR simbólica.
%   SymPsdNoise - PSD del ruido total introducido pasado como variable
%                 simbolica.
%   distancia   - distancia del par trenzado.
%
%Retorno:
%   vecCapCanReal - Devuelve un vector con los valores reales de bits
%                 usados en cada subcanal. Por ejemplo: no se puede
%                 enviar 3.6bits, sino 3bits.
%

syms f;
numDatos = length(vecFreCen);
***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.1104; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 2.208E6;
***** FIN: CONSTANTES

***** Calculo LPF
%LPF con 3dB a 1104KHz y 36dB/oct
aLF=36/(10*log10(2));
fhL=1.104E6;
LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF
***** FIN: Calculo LPF

***** Calculo HPF
%HPF con edB a 4 y 25.875KHz y 57.5dB atenuacion en
%la banda de voz, separa ADSL de POTS
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=57.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro HPF
***** FIN: Calculo HPF

***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)

```

```

PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber downstream

snr = PSDds*HPtCanal(distancia)/SymPsdNoise;% con shannon

vecSNR = LlenarVector(vecFreCen, snr);

vecCapCan = 4000 * log2(1 + vecSNR);

%***** ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****
vecCapCan(numDatos) = 0;% el ultimo canal no se usa. NYQUIST
if numDatos == 224
    vecCapCan(64 - 32) = 0; % el canal 64 (276KHz) no se usa. PILOT
else
    vecCapCan(64 - 6) = 0; % el canal 64 (276KHz) no se usa. PILOT
end
%***** FIN: ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****

vecCapCanReal = 4000 * floor(vecCapCan / 4000);

%***** ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****
for i=1:1:numDatos
    if vecCapCanReal(i) > 60000
        vecCapCanReal(i) = 60000;
    end
end
%***** FIN: ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****

figure(4);
hold on;
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCan);
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCanReal);
title('velocidad por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('bits/seg');

figure(5);
hold on;
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCanReal / 4000);
title('bits por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('numero de bits');

CapacidadTeorica = vecCapCan * ones(numDatos, 1)
CapacidadTeoricaReal = vecCapCanReal * ones(numDatos, 1)
% separacion entre portadoras: 4.3125 KHz
% numero de canales usados segun el estandar: 249-26=223

```

CapTeoUl.m

```

function vecCapCanReal = CapTeoUl(vecFreCen, SymPsdNoise, distancia)
%nombre archivo: CapTeoUl.m
%
%Capacidad Teorica en Upload segun Shannon.
%
%Argumentos:
%   vecFreCen   - Es un vector de todos los valores de frecuencia central
%                 con los que se va a evaluar la SNR simbólica.
%   SymPsdNoise - PSD del ruido total introducido pasado como variable
%                 simbolica.
%   distancia   - distancia del par trenzado.

```

```

%
%Retorno:
%   vecCapCanReal   - Devuelve un vector con los valores reales de bits
%                   usados en cada subcanal. Por ejemplo: no se puede
%                   enviar 3.6bits, sino 3bits.
%
%

syms f;
numDatos = length(vecFreCen);
%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.0437; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 276E3;
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo LPF
aLF=24/(10*log10(181.125/138));
fhL=138E3;
LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%***** FIN: Calculo LPF

%***** Calculo HPF
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=59.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%***** FIN: Calculo HPF

%***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)
PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber downstream

snr = PSDds*HPtCanal(distancia)/SymPsdNoise;% con shannon

vecSNR = LlenarVector(vecFreCen, snr);

vecCapCan = 4000 * log2(1 + vecSNR);

%***** ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****
vecCapCan(numDatos) = 0;% el ultimo canal no se usa. NYQUIST
vecCapCan(16 - 6) = 0; % el canal 16 (69KHz) no se usa. PILOT
%***** FIN: ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****

vecCapCanReal = 4000 * floor(vecCapCan / 4000);

%***** ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****
for i=1:1:numDatos
    if vecCapCanReal(i) > 60000
        vecCapCanReal(i) = 60000;
    end
end
%***** FIN: ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****

figure(7);
hold on;
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCan);
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCanReal);
title('velocidad por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('bits/seg');

figure(8);
hold on;
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCanReal / 4000);
title('bits por canal');
xlabel('frecuencia');

```

```

ylabel('numero de bits');

CapacidadTeorica = vecCapCan * ones(numDatos, 1)
CapacidadTeoricaReal = vecCapCanReal * ones(numDatos, 1)
% separacion entre portadoras: 4.3125 KHz
% numero de canales usados segun el estandar: 31-6=25

```

CapPraDI.m

```

function vecCapCanReal = CapPraDI(vecFreCen, SymPsdNoise, distancia)
%nombre archivo: CapTeoDI.m
%
%Capacidad Practica en Download corrigiendo el calculo de Shannon.
%
%Argumentos:
%   vecFreCen   - Es un vector de todos los valores de frecuencia central
%                 con los que se va a evaluar la SNR simbólica.
%   SymPsdNoise - PSD del ruido total introducido pasado como variable
%                 simbolica.
%   distancia   - distancia del par trenzado.
%
%Retorno:
%   vecCapCanReal - Devuelve un vector con los valores reales de bits
%                   usados en cada subcanal. Por ejemplo: no se puede
%                   enviar 3.6bits, sino 3bits.
%
%
syms f;
numDatos = length(vecFreCen);
%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.1104; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 2.208E6;
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo LPF
%LPF con 3dB a 1104KHz y 36dB/oct
aLF=36/(10*log10(2));
fhL=1.104E6;
LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF
%***** FIN: Calculo LPF

%***** Calculo HPF
%HPF con edB a 4 y 25.875KHz y 57.5dB atenuacion en
%la banda de voz, separa ADSL de POTS
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=57.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro HPF
%***** FIN: Calculo HPF

%***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)
PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber downstream

snr = PSDds*HPtCanal(distancia)/SymPsdNoise/14;% Shannon con gap = 14

vecSNR = LlenarVector(vecFreCen, snr);

vecCapCan = 4000 * log2(1 + vecSNR);

```



```

***** ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****
vecCapCan(numDatos) = 0;% el ultimo canal no se usa. NYQUIST
if numDatos == 224
    vecCapCan(64 - 32) = 0; % el canal 64 (276KHz) no se usa. PILOT
else
    vecCapCan(64 - 6) = 0; % el canal 64 (276KHz) no se usa. PILOT
end
***** FIN: ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****

vecCapCanReal = 4000 * floor(vecCapCan / 4000);

***** ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****
for i=1:1:numDatos
    if vecCapCanReal(i) > 60000
        vecCapCanReal(i) = 60000;
    end
end
***** FIN: ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****

figure(11);
hold on;
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCan);
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCanReal);
title('velocidad por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('bits/seg');

figure(12);
hold on;
stairs((vecFreCen - 2156.25), vecCapCanReal / 4000);
title('bits por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('numero de bits');

CapacidadTeorica = vecCapCan * ones(numDatos, 1)
CapacidadTeoricaReal = vecCapCanReal * ones(numDatos, 1)
% separacion entre portadoras: 4.3125 KHz
% numero de canales usados segun el estandar: 249-26=223

```

CapPraUI.m

```

function vecCapCanReal = CapPraUl(vecFreCen, SymPsdNoise, distancia)
%nombre archivo: CapTeoDl.m
%
%Capacidad Practica en Upload corrigiendo el calculo de Shannon.
%
%Argumentos:
%   vecFreCen   - Es un vector de todos los valores de frecuencia central
%                 con los que se va a evaluar la SNR simbólica.
%   SymPsdNoise - PSD del ruido total introducido pasado como variable
%                 simbolica.
%   distancia   - distancia del par trenzado.
%
%Retorno:
%   vecCapCanReal - Devuelve un vector con los valores reales de bits
%                   usados en cada subcanal. Por ejemplo: no se puede
%                   enviar 3.6bits, sino 3bits.
%
syms f;
numDatos = length(vecFreCen);
***** CONSTANTES

```

```

POTENCIA = 0.0437; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 276E3;
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo LPF
aLF=24/(10*log10(181.125/138));
fhL=138E3;
LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%***** FIN: Calculo LPF

%***** Calculo HPF
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=59.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%***** FIN: Calculo HPF

%***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)
PSDs = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber downstream

snr = PSDds*HPtCanal(distancia)/SymPsdNoise/14;% Shannon con gap = 14

vecSNR = LlenarVector(vecFreCen, snr);

vecCapCan = 4000 * log2(1 + vecSNR);

%***** ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****
vecCapCan(numDatos) = 0;% el ultimo canal no se usa. NYQUIST
vecCapCan(16 - 6) = 0; % el canal 16 (69KHz) no se usa. PILOT
%***** FIN: ajuste de capacidad CANALES NO USADOS *****

vecCapCanReal = 4000 * floor(vecCapCan / 4000);

%***** ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****
for i=1:1:numDatos
    if vecCapCanReal(i) > 60000
        vecCapCanReal(i) = 60000;
    end
end
%***** FIN: ajuste a velocidad maxima 60Kbits/s *****

figure(14);
hold on;
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCan);
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCanReal);
title('velocidad por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('bits/seg');

figure(15);
hold on;
stairs(vecFreCen - 2156.25, vecCapCanReal / 4000);
title('bits por canal');
xlabel('frecuencia');
ylabel('numero de bits');

CapacidadTeorica = vecCapCan * ones(numDatos, 1)
CapacidadTeoricaReal = vecCapCanReal * ones(numDatos, 1)
% separacion entre portadoras: 4.3125 KHz
% numero de canales usados segun el estandar: 31-6=25

```

GenVFCDI.m

```
function freX = GenVFCDI(tipo)
%
%Generador del vector de frecuencias centrales para cada subportadora
%del rango especificado.
%
%Argumentos:
% tipo - Cadena que dice si es canal download o upload.
% Posibles valores:
% 'up fdm' (SON LO MISMO)
% 'up eco' (SON LO MISMO)
% 'down fdm'
% 'down eco'
%
%Retorno:
% freX - Vector con elementos de valores de la frecuencia central
% de cada subcanal.
%

switch lower(tipo)
case 'down fdm', freX = [138000+4312.5/2.0:4312.5:1104000];
case 'down eco', freX = [25875+4312.5/2.0:4312.5:1104000];
otherwise, freX = [25875+4312.5/2.0:4312.5:138000];
end
```

SPsdNoiD.m

```
function SYMPSDNOISE = SPsdNoiD(nDistFext, distancia, nDistNext)
%
%*****
%* Calculo de la PSD del ruido total visto en el receptor del abonado: *
%* PsdNoise_abonado = SPsdFexD + SPsdNexU + AWGN + REN (Watt/Hz) *
%*****
%
% Argumentos:
% nDistFext - Numero de interferentes lejanos. Transmisor ATU-C.
% distancia - Distancia desde la central.
% nDistNext - Numero de interferentes cercanos. Transmisor ATU-R.
%
% Retorno:
% SYMPSDNOISE - Densidad espectral de potencia simbolica del ruido
% (funcion de "f")
%
% -----
syms f; %frecuencia en Hz

%***** PSD FEXT DownStream *****
PFEXT = SPsdFexD(nDistFext, distancia, 'FDM');
%*****

%***** PSD NEXT UpStream *****
PNEXT = SPsdNexU(nDistNext);
%***** FIN: PSD NEXT UpStream *****

AWGN=1E-17; %equivale a: -140dBm/Hz

REN=1E-14; %equivale a: -110dBm/Hz 30dB mas arriba que AWGN

SYMPSDNOISE = PNEXT + PFEXT + AWGN + REN;
SYMPSDNOISEdbm = 10*log10(SYMPSDNOISE*1000);%en dBm/Hz

figure(3);
```

```

hold on;
ezplot(SYMPSDNOISEdbm,[0,1104000]);%grafica en dBm/Hz
axis([0 1104000 -115 -90]);
title('PSD del Ruido Total');
xlabel('frecuencia (Hz)');
ylabel('PSD de ruido total (dBm)');

```

SPsdNoiU.m

```

function SYMPSDNOISE = SPsdNoiU(nDistFext, distancia, nDistNext)
%
%*****
%* Calculo de la PSD del ruido total visto en receptor Central Telef.: *
%* PsdNoise_CentralTelefonica = SPsdFexU + SPsdNexD + AWGN + REN (Watt/Hz)*
%*****
%
% Argumentos:
%   nDistFext   - Numero de interferentes lejanos. Transmisor ATU-R.
%   distancia   - Distancia hacia el abonado.
%   nDistNext   - Numero de interferentes cercanos. Transmisor ATU-C.
%
% Retorno:
%   SYMPSDNOISE - Densidad espectral de potencia simbolica(funcion de "f")
%
% -----
%

syms f; %frecuencia en Hz

%***** PSD FEXT DownStream *****
PFEXT = SPsdFexU(nDistFext, distancia);
%*****

%***** PSD NEXT UpStream *****
PNEXT = SPsdNexD(nDistNext);
%***** FIN: PSD NEXT UpStream *****

AWGN=1E-17;

REN=1E-14;

SYMPSDNOISE = PNEXT + PFEXT + AWGN + REN;
SYMPSDNOISEdbm = 10*log10(SYMPSDNOISE*1000);%en dBm/Hz

figure(6);
hold on;
ezplot(SYMPSDNOISEdbm,[0,140000]);%grafica en dBm/Hz
axis([0 140000 -115 -90]);
title('PSD del Ruido Total');
xlabel('frecuencia (Hz)');
ylabel('PSD de ruido total (dBm)');

```

SPsdAdsl.m

```

function SymPsdAdsl = SPsdAdsl(potencia, f0)
%
%nombre archivo: SPsdAdsl.m
%
%PSD Transmitida en Watts en canal ADSL (down o up) antes de los filtros.

```

```

%
%Argumentos:
% potencia - Potencia total de la señal ADSL
%            (0.1104 en Down y 0.0437 en Up) [watt]
% f0       - Frecuencia de muestreo
%            (2.208E6 en Downstream y 276E3 en Upstream) [Hertz]
%
syms f;

SymPsdAdsl=potencia*(2/f0)*((sin(pi*f/f0))^2/(pi*f/f0)^2);

```

HPtCanal.m

```

function FunTraPotCanal = HPtCanal(d)
%
%Funcion que devuelve la Funcion de Transferencia del canal.
%
%Argumentos:
% d - Distancia en Km del bucle del abonado.
%
%Retorno:
% FunTraPotCanal - Funcion de Transf. Potencia del Canal en funcion de la
%                 frecuencia, dada la distancia como argumento.
%
syms f;

r0c=0.28E3;% oh/Km
ac=0.0969;
l0=0.5873E-3;% H/Km
lin=0.4260E-3;% oh/Km
fm=0.7459E6;% en el estandar esta en Mhz, pero aki ya esta en Hz
b=1.3850;

R = ( r0c^4 + ac*(f)^2 )^0.25;% en oh/Km
L = ( l0 + lin*(f/fm)^b ) / ( 1 + (f/fm)^b);%en H/Km

Kr=0.2;
w=2*pi*f;
C=52E-9;%en uF/Km
%L=0.6E-3;%en mH/Km
%a=(Kr/2)*(w*C/L)^0.5;
%b=w*(L*C)^0.5+(Kr/2)*(w*C/L)^0.5;
%Hc=exp(-d*a)%*exp(-i*d*b)
%AH=(abs(Hc))^2;
FunTraPotCanal = exp(-d*Kr*(w*C/L)^0.5);
figure (20);
ezplot(20*log10(FunTraPotCanal),[0,1104000]);

```

LlenarVector.m

```

function y = LlenarVector(x, funcSymb)
%
%nombre archivo: LlenarVector.m
%Funcion de proposito general:
%
% Toma una ecuacion simbolica y la evalua para una
% serie de datos dados, almacenados en matriz x.

```

```

%
%Argumentos:
%   x           - Es una serie de datos almacenados en
%               una matriz que contienen los valores
%               de x para evaluar una funcion simbo-
%               lica.
%   funcSimb    - variable que almacena la funcion
%               simbolica que se desea evaluar.
%
%Ejemplo:
%   y = LlenarVector(x, funcSimb)   nota: funcSimb(f)
%
MAXIMAFRECUENCIA = 1104000;

f=0; %variable de funcSimb

numEleX = length(x);

y(1:numEleX)=0;

for i=1:length(x);
    if x(i) <= MAXIMAFRECUENCIA
        f = x(i);
        y(i) = eval(funcSimb);
    else
        y(i) = 0;
    end
end
end

```

SPsdFexD.m

```

function PFEXT = SPsdFexD(nDistDs, distancia, conEco)
%
%nombre archivo: SPsdFexD.m
%
%Argumentos:
%   nDistDs    - Numero de interferentes downstream introducidos en receptor
%               abonado.
%               Son el numero de transmisores adyacentes del lado de la
%               Central.
%   distancia  - Longitud del bucle en estudio.
%               (Km)
%   conEco     - Si es igual a Eco se usa Echo Cancellation.
%               Este valor solo modifica el filtro pasa altos.
%
%Retorno:
%   PFEXT      - Densidad Espectral de potencia del Fext de n interferentes
%               (n < 50) y distancia dados.
%
syms f;           %frecuencia en Hz

%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.1104; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 2.208E6;
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo LPF
%LPF con 3dB a 1104KHz y 36dB/oct
aLF=36/(10*log10(2));
fhL=1.104E6;

```

```

LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF
%***** FIN: Calculo LPF

%***** Calculo HPF
%HPF con edB a 4 y 25.875KHz y 57.5dB atenuacion en
%la banda de voz, separa ADSL de POTS
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=57.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro HPF
%***** FIN: Calculo HPF

%***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)
PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber downstream

%***** Funcion de transferencia FEXT
kf=8E-20*(nDistDs/49)^0.6; %nDistDs menor q 50
%usando factor de conversion: 1Km = 3280.83pies
HFEXT=HPtCanal(distancia)*kf*(distancia*3280.83)*f^2;
%***** FIN: Funcion de transferencia FEXT

PFEXT=PSDds*HFEXT;

```

SPsdFexU.m

```

function PFEXTU = SPsdFexU(nDistDs, distancia)
%
%nombre archivo: SPsdFexU.m
%
%Argumentos:
%   nDistDs   - Numero de interferentes upstream introducidos en receptor
%               central.
%               Son el numero de transmisores adyacentes del lado de
%               abonados.
%   distancia - Longitud del bucle en estudio.
%               (Km)
%
%Retorno:
%   PFEXT     - Densidad Espectral de potencia del Fext de n interferentes
%               (n < 50) y distancia dados.
%
syms f;           %frecuencia en Hz

%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.0437; %Potencia total en Wattios de ADSL Downstream
F0 = 276E3;
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo LPF
%LPF con 3dB a 1104KHz y 36dB/oct
aLF=24/(10*log10(181.125/138));
fhL=138E3;
LPF=(fhL^aLF)/((f^aLF)+(fhL^aLF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF
%***** FIN: Calculo LPF

%***** Calculo HPF

```

```

%HPF con edB a 4 y 25.875KHz y 57.5dB atenuacion en
%la banda de voz, separa ADSL de POTS
f1=4000;
fhH=25875;
aHF=59.5/(10*log10(fhH/f1));
HPF=((f^aHF)+(f1^aHF))/((f^aHF)+(fhH^aHF));
%Funcion transferencia de potencia del filtro HPF
%***** FIN: Calculo HPF

%***** PSD ADSL Disturber downstream (downloads adyacentes)
PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA, F0)*LPF*HPF;
%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM
%(Transmisores del lado de Pacifictel)
%***** FIN: PSD ADSL Disturber Downstream

%***** Funcion de transferencia FEXT
kf=8E-20*(nDistDs/49)^0.6; %nDistDs menor q 50
%usando factor de conversion: 1Km = 3280.83pies
HFEXT=HPtCanal(distancia)*kf*(distancia*3280.83)*f^2;
%***** FIN: Funcion de transferencia FEXT

PFEXTU=PSDds*HFEXT;

```

SPsdNexD.m

```

function PNEXTD = SPsdNexD(nDistDs)
%
%nombre archivo: SPsdNexD.m
%
%Argumentos:
% nDistUs - Numero de interferentes Downstream introducidos en
transmisor
% de la Central (por transmisores DSLAM cercanos).
% Son el numero de transmisores adyacentes del lado de la
% Central.
%
%Retorno:
% PNEXTD - Densidad Espectral de Potencia del Next de n interferentes
% (n < 50).
%

syms f;

%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.1104; %Potencia total en Wattios de ADSL Upstream
%Potencia Total Transmitida en Watts en canal ADSL de
%bajada antes de los filtros.
%
%Recordar que puede ser dato del problema para
%diferentes modems.
F0 = 2.208E6; %Frecuencia de muestreo (Hz)
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo de filtros
alphaL=36/(10*log10(2));
fAltaL=1.104E6;
LPFDs=(fAltaL^alphaL)/((f^alphaL)+(fAltaL^alphaL));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF

fBajaH=4000;
fAltaH=25875;
alphaH=57.5/(10*log10(fAltaH/fBajaH));
HPFDs=((f^alphaH)+(fBajaH^alphaH))/((f^alphaH)+(fAltaH^alphaH));

```



```

%Funcion transferencia de potencia del filtro

%**** PSD ADSL Disturber upstream
PSDds = SPsdAdsl(POTENCIA,F0)*LPFds*HPFds;%PSD DISTURBER TX-DOWNSTREAM

%***** Funcion de transferencia NEXT
xNds = (0.8536E-14)*nDistDs^0.6; % Coeficiente de NEXT para n interferentes
HNEXT = xNds*f^1.5;
%***** FIN: Funcion de transferencia NEXT

PNEXTD = PSDds*HNEXT;

```

SPsdNexU.m

```

function PNEXT = SPsdNexU(nDistUs)
%
%nombre archivo: SPsdNexU.m
%
%Argumentos:
%  nDistUs      - Numero de interferentes Upstream introducidos en receptor
%                abonado (por transmisores de los vecinos).
%                Son el numero de transmisores adyacentes del lado del
%                abonado.
%
%Retorno:
%  PFEXT        - Densidad Espectral de Potencia del Next de n interferentes
%                (n < 50).
%
%
syms f;

%***** CONSTANTES
POTENCIA = 0.0437; %Potencia total en Wattios de ADSL Upstream
                %Potencia Total Transmitida en Watts en canal ADSL de
                %bajada antes de los filtros.
                %
                %Recordar que puede ser dato del problema para
                %diferentes modems.
F0 = 276000;      %Frecuencia de muestreo (Hz)
%***** FIN: CONSTANTES

%***** Calculo de filtros
alphaL=24/(10*log10(181.125/138));
fAltaL=138000;
LPFus=(fAltaL^alphaL)/((f^alphaL)+(fAltaL^alphaL));
%Funcion transferencia de potencia del filtro LPF

fBajaH=4000;
fAltaH=25875;
alphaH=59.5/(10*log10(fAltaH/fBajaH));
HPFus=((f^alphaH)+(fBajaH^alphaH))/((f^alphaH)+(fAltaH^alphaH));
%Funcion transferencia de potencia del filtro

%**** PSD ADSL Disturber upstream
PSDus = SPsdAdsl(POTENCIA,F0)*LPFus*HPFus;%PSD DISTURBER TX-UPSTREAM

%***** Funcion de transferencia NEXT
xNus = (0.8536E-14)*nDistUs^0.6; % Coeficiente de NEXT para n interferentes
HNEXT = xNus*f^1.5;
%***** FIN: Funcion de transferencia NEXT

PNEXT = PSDus*HNEXT;

```

ANEXO D – MODELO DEL CABLE DE COBRE

Puesto que los datos ADSL se transmiten a través del cable de cobre es necesario tener un modelo con el cual podemos determinar el comportamiento de la señal a lo largo del medio.

El par de cobre utiliza el modelo de una línea de transmisión que utiliza las cuatro constantes principales: Resistencia (R), Conductancia (G), Capacitancia (C) e Inductancia (L) [9]. Como se puede ver en la Figura D.1. estas constantes están dadas en términos “por unidad de longitud”.

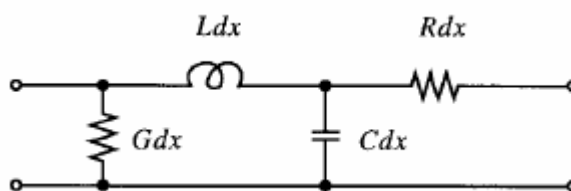


Figura D.1. Modelo para una sección pequeña de cable de cobre

Debido al efecto que se produce en señales ac, la resistencia es una impedancia compleja que sigue el siguiente modelo:

$$R(\omega) = k_R(1 + j)\sqrt{\omega}\Omega / km$$

Ecuación D.1. Modelo de Resistencia en Cables de Cobre

Donde:

k_R , es una constante determinada por el diámetro y el material del cable

ω , está en unidades de rad/seg

Los parámetros C y L son relativamente constantes a altas frecuencias y G es aproximadamente 0. Los valores típicos utilizados son $K_R = 0.2$, $L = 0.6$ mH/Km y $C = 0.52$ μ F/Km para frecuencias mayores a 100KHz.

Impedancia Característica

La impedancia característica de una línea de transmisión es igual a:

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

Ecuación D.2a. Impedancia Característica de Línea de Transmisión

Sustituyendo el valor de $G=0$ y utilizando la aproximación $\sqrt{1+x} \cong 1+x/2$

para $x \ll 1$ se tiene:

$$Z_0 \cong \sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{k_R(1-j)}{2\sqrt{\omega LC}}$$

Ecuación D.2b. Impedancia Característica de Línea de Transmisión

Para altas frecuencias se tiene que $Z_0 = \sqrt{L/C}$. Puesto que L y C son relativamente constantes para altas frecuencias Z_0 también lo será. Utilizando los valores típicos se tiene que $Z_0 = 110\Omega$ para frecuencias mayores a 100 KHz. Para frecuencias bajas, la impedancia característica tiene un término adicional el cual es inversamente proporcional a \sqrt{f} .

Función de Transferencia

La función de transferencia del par de cobre está basada en el siguiente modelo:

$$H(d, \omega) = e^{-d\gamma(\omega)} = e^{-d\alpha(\omega)} e^{-jd\beta(\omega)}$$

Ecuación D.3. Función de Transferencia del Par de Cobre

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

Donde

α y β son las constantes de atenuación y fase respectivamente, mientras que d es la longitud del cable. Con $G = 0$ y utilizando la ecuación D.1. se tiene que:

$$\gamma(\omega) = j\omega\sqrt{LC} \left[1 + \frac{k_R(1-j)}{L\sqrt{\omega}} \right]^{1/2}.$$

utilizando la aproximación $\sqrt{1+x} \cong 1+x/2$

Se tiene que:

$$\alpha(\omega) = \frac{k_R}{2} \sqrt{\frac{\omega C}{L}}$$

$$\beta(\omega) = \omega\sqrt{LC} + \frac{k_R}{2} \sqrt{\frac{\omega C}{L}}.$$

Ecuación D.4. Valores de las constantes α y β

Combinando las ecuaciones D.3 y D.4 para una longitud dada d , se tiene que la función de transferencia del cable en dB es la siguiente:

$$\begin{aligned} H_{dB}(d, f) &= 20 \log_{10} |H(d, f)| \\ &= \frac{-20}{\ln 10} d\alpha(f) \\ &= -8.686d \times k_R \sqrt{\frac{\pi f C}{2L}} \end{aligned}$$

Ecuación D.5. Función de Transferencia del Cable de Cobre

Lo que implica que la ganancia en dB es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andueza, Ángel Maria. "Tecnologías de Acceso de Banda Ancha en la Comunidad de Navarra". Universidad Pública de Navarra. Julio 2004.
- [2] DSL Fórum; "Fiber - Copper Access to the Information Highway"; http://www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_tutorial.html
- [3] Ing. Solano, Randall. "Guía de Culturización del Servicio ADSL". Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Marzo 2004
- [4] Dr. Zellner, Fred. "ADSL". Marzo 2002.
- [5] Sanz Peris, Eduardo. "EL ADSL". 2002.
- [6] Universidad Politécnica de Catalunya (UPC); ADSL; <http://linuxupc.upc.es/%7Ejj/adsl/index-adsl.htm>
- [7] PACIFICTEL S.A. "Normas Técnicas Para Planta Externa"; Vol.3; "CONSTRUCCION DE REDES DE TELECOMUNICACIONES DE PLANTA EXTERNA" Febrero 2000.
- [8] ANSI, Estándar T1.413 "Network and Customer Installation Services-Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface", Anexo G; Diciembre 1998.
- [9] Johns, David; Essig, Daniel. "Integrated Circuits for Data Transmission Over Twisted-Pair Channels". IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 32 No.3, Marzo 1997, pp. 398-406.
- [10] PACIFICTEL S.A. "Normas Técnicas Para Planta Externa" Vol.1 "Equipos y Materiales de Planta Externa", Febrero 2000.
- [11] Schlegel, Michael. "High Bit Rate Data Transmisión Over The Telephone Loop Plant Emphasising on DMT Modulation Scheme"; Department of Electronic, Technological Educational Institute of Piraeus.
- [12] Bingham, John A. C. "ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation"; John Wiley & Sons, INC.; 2000.
- [13] ANSI, Estándar T1.413 "Network and Customer Installation Services-Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface", Anexo B; Diciembre 1998.
- [14] ANSI, Estándar T1.413 "Network and Customer Installation Services-Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface"; Diciembre 1998

- [15] Datos del Censo de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2001.
- [16] ADSL Forum. "Interfaces and System Configurations for ADSL: Central Office", Technical Report TR-013, Enero 1999.
- [17] Carvajal, Raul; Saavedra Miguel. Programa de Becas de Investigación para la Conservación (PBIC); <http://wmi.com.au/csgarticles/proyectococodriloecuador.pdf>
- [18] Estadísticas de Internet, Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador, 2005. <http://www.supertel.gov.ec>